

André Geremia Parise

**APRENDIZAGEM E COMUNICAÇÃO EM PLANTAS:
UM ESTUDO SOBRE TRANSMISSÃO DE APRENDIZADO EM
Mimosa pudica L. (FABACEAE)**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Centro de Ciências
Biológicas da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Bacharel em Ciências
Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Maia
Souza

Coorientadora: Profa. Dra. Neusa
Steiner

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Parise, André Geremia

Aprendizagem e comunicação em plantas : Um estudo sobre transmissão de aprendizado em Mimosa pudica L. (Fabaceae) / André Geremia Parise ; orientador, Gustavo Maia Souza, coorientadora, Neusa Steiner, 2017.

96 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Aprendizado em plantas. 3. Comunicação em plantas. 4. Ecofisiologia sistêmica. 5. Mimosa pudica. I. Souza, Gustavo Maia. II. Steiner, Neusa. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

André Geremia Parise

**APRENDIZAGEM E COMUNICAÇÃO EM PLANTAS:
UM ESTUDO SOBRE TRANSMISSÃO DE APRENDIZADO EM
Mimosa pudica L. (FABACEAE)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Ciências Biológicas, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 9 de novembro de 2017.

Prof. Dr. Carlos Roberto Zanetti
Coordenador do Curso de Ciências Biológicas

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gustavo Maia Souza
Orientador
Universidade Federal de
Pelotas

Profa. Dra. Neusa Steiner
Coorientadora
Universidade Federal de Santa
Catarina

Prof. Dr. Daniel de Barcellos Falkenberg
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Paulo Tamasso Miotto
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha família e a todos os que contribuíram para a minha formação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha família. Agradeço aos meus pais, Tania Maria de Carvalho e Luís André Parise. Devo a cada um deles metade do meu material genético, um berço de amor, apoio, carinho, meus centríolos e mitocôndrias e todo o tipo de herança epigenética e principalmente cultural e comportamental que em muito contribuíram para que eu fosse quem sou.

Agradeço aos meus irmãos, Raffaele e Luís Eduardo Parise, pela companhia de longa data, pelos brinquedos, computadores e vidas compartilhadas.

Agradeço a Odélia Carmelina Luiz, por todo o cuidado e paciência que teve comigo ao longo de todos esses anos.

Agradeço aos meus tios Patrícia Jackson e Airton Parise, e Maria Cecília Isatto e Orlando Parise Jr., pois sem todo o apoio, ajuda e incentivo eu jamais teria alcançado o que até agora alcancei.

Agradeço ao Sr. Leonardo Redaelli (*in memoriam*) e à Sra. Lise Lote Müller, fundamentais para que eu seguisse pelos belos caminhos da ciência, e principalmente por fomentarem meu interesse pela história natural. Sem todas as maravilhosas conversas, livros e conselhos, quiçá o que eu teria feito!

Agradeço a Leonardo Tavares Dias pelo companheirismo, conversas, conselhos e paciência por ouvir todas as minhas queixas.

Agradeço ao professor Luiz Carlos de Pinho, que guiou os meus primeiros passos pela ciência e oficialmente me introduziu na comunidade científica.

Agradeço ao professor Kay Saalfeld, por ter aberto os meus olhos a uma nova ciência e uma nova biologia, bem como a todos os integrantes do Grupo de Estudos em Evolução do CCB, pelas conversas perspicazes, discussões intrigantes e excelentes piadas ruins.

Agradeço à professora Mayara Krasinski Caddah por ter me trazido de volta para a botânica e por ter me incentivado desde o começo com essa “loucura” de inteligência em plantas.

Naturalmente, agradeço aos meus orientadores, professores Neusa Steiner e Gustavo Maia Souza pelo apoio, prontidão, orientação e conselhos que tornaram este projeto possível e concluído.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial a turma de 2012, por toda a companhia, instigantes conversas biológicas e científicas, inesquecíveis noites pelos bares da vida e festas estrondosas que tornaram esta fase uma das melhores da minha vida.

Agradeço à equipe do Laboratório de Fisiologia Vegetal, do Laboratório de Sistemática Vegetal e Laboratório de Micologia da UFSC, bem como a todo o Departamento de Botânica pelas excelentes experiências e aprendizados nesses últimos anos.

Um obrigado especial a Ana Luíza Leite Bado pela ajuda no cultivo das plantas usadas neste experimento, bem como a Escarlet Brizola Silveira pelo auxílio com a coleta dos dados, Daniel Barboza Capella pela ajuda ao analisá-los e Letícia de Carvalho Tavares Coelho pelo auxílio com as ilustrações.

Muito obrigado à banca que se disponibilizou prontamente a avaliar este trabalho.

Agradeço, também, ao Bar e Pizzaria do Maneca. Seus “litrões” de cerveja gelada a R\$ 5,00 (posteriormente R\$ 6,00) foram fundamentais para excelentes discussões intelectuais (ou não) a um custo muito baixo.

Por fim, agradeço a todos os que passaram pela minha vida, mesmo que brevemente, e de algum modo contribuíram para que eu chegasse até aqui. A vida é um processo caótico, e por isso todos esses encontros e desencontros foram tão importantes para que tudo acontecesse do jeito que aconteceu.

A todos vocês o meu sincero muito obrigado.

“Quem não se comunica, se trumbica.”
(José Abelardo Barbosa de Medeiros,
o Chacrinha)

RESUMO

A neurobiologia vegetal, ou ecofisiologia vegetal sistêmica, é uma disciplina muito recente dentro das ciências botânicas que busca estudar as plantas a partir de um paradigma sistêmico, reconhecendo-as como seres complexos, ativos e dinâmicos em seu esforço pela sobrevivência em um meio constantemente mutável. Dentro dessa área, destacam-se os estudos em inteligência de plantas, os quais possuem muitas subdivisões, como o estudo do aprendizado e da comunicação. Neste trabalho, buscou-se estudar esses dois aspectos da inteligência em plantas dormideiras (*Mimosa pudica* L.). O experimento foi delineado para investigar se um comportamento que tenha sido aprendido por uma planta é transmitido a outras da mesma população. Assim, dividiu-se as plantas em três tratamentos: Sombra, Luz e Controle à luz. Cada tratamento continha cinco fileiras de vasos com dormideiras jovens e cada fileira era formada por uma planta que recebeu um treinamento (T; exceto Controle, que não o recebeu), que ficava no meio, duas plantas que compartilhavam os vasos através de suas raízes em uma fila com a planta T e duas que não compartilhavam os vasos com nenhuma outra planta. Aplicou-se, ao longo de 24h, uma série de estímulos inócuos às plantas T, deslizando um bastão de vidro pelos seus folíolos, até que essas aprendessem por habituação a ignorá-lo e, em seguida, aplicou-se o mesmo estímulo às outras e se observou as suas respostas. Os parâmetros utilizados para avaliar a reação das plantas foram a abertura dos folíolos, medida em porcentagem, e o tempo de reação dos folíolos, medido em segundos. Concluiu-se que dormideiras em situação de estresse aprendem mais rápido do que dormideiras em ambientes mais favoráveis, algo verificado em estudos anteriores, o que os corrobora. Em relação à transmissão do aprendizado, os resultados foram inconclusivos, sendo necessárias mais repetições com um *n* amostral maior.

Palavras-chave: Neurobiologia vegetal. Ecofisiologia sistêmica. Aprendizado em plantas. Comunicação em plantas. *Mimosa pudica*.

ABSTRACT

Plant neurobiology, or plant systemic ecophysiology, is a very recent discipline within the biological sciences that aims to study plants from a systemic paradigm, recognizing them as complex beings, actives and dynamics on their struggle for survival in an ever-changing environment. Within this area, the studies on plant intelligence can be highlighted, which have many ramifications, such as the study of plant learning and communication. On this work, it was tried to investigate these two aspects of intelligence in sensitive plants (*Mimosa pudica* L.). The experiment was designed to find out if a behaviour that was learned by one plant is transmitted to others on the same population. Hence, plants were divided in three treatments: Shadow, Light, and Control at light. Each treatment had five rows of pots with young sensitive plants, and each row was composed by one plant that received a training (T; except Control, that did not receive the training), which was placed on the middle, two plants that were sharing the pots by the roots in one line with the T plant, and two that did not share the pots with any other plant. Throughout 24h a series of training stimuli (to slide a glass stick through the leaflets) were delivered to the T plants until they have learned by habituation to ignore it, and next, the same stimulus was delivered to the other plants and their responses were observed. The parameters utilized to evaluate the reaction of the plants were the degree of leaflet opening, measured in percentage, and the reaction time of the leaflets, measured in seconds. It was concluded that sensitive plants in stressful conditions learn faster than plants in less favourable environments, something previously verified in earlier studies, which corroborate them. In which regard the transmission of the learned behaviour, the results were inconclusive, and more repetitions with a larger sample are necessary.

Keywords: Plant neurobiology. Systemic ecophysiology. Plant learning. Plant communication. *Mimosa pudica*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: <i>A Pirâmide dos Videntes</i> , ilustração do <i>Liber de Sapiente</i> , de Charles de Bovelles (1509).....	31
Figura 2: Locais do campus da UFSC onde foram coletadas as sementes de dormideiras (<i>Mimosa pudica</i>) usadas neste experimento. A: Localização da UFSC na Ilha de Santa Catarina, B: ponto de coleta do EFI, C: ponto de coleta do HU, D: edifício da reitoria, para localização.....	57
Figura 3: Esquema do arranjo de um dos tratamentos dados às plantas durante o experimento. Verifica-se um tratamento, com cinco fileiras e cinco grupos de plantas: T , as que sofreram treinamento; C1 , as que compartilharam o vaso com as T; C2 , as que compartilharam o vaso com as C1; N1 , as que não compartilharam o vaso e estão mais próximas de T; e N2 , as que não compartilharam o vaso e estão mais distantes de T.....	59
Figura 4: Experimento montado no Laboratório de Fisiologia Vegetal, Departamento de Botânica da UFSC. A: Tratamento Sombra, B: tratamento Luz; C: tratamento Controle.....	61
Figura 5: Gráfico da curva de aprendizado dos tratamentos Sombra e Luz durante teste de treinamento, no qual se acompanhou o aprendizado por habituação através da abertura das folhas em %, sendo 100% a abertura máxima. Barras verticais representam o erro padrão.....	67
Figura 6: Gráfico da do tempo que as plantas levaram para fechar as folhas (tempo de reação), em segundos, dos tratamentos Sombra e Luz durante o teste de treinamento, no qual se acompanhou o aprendizado por habituação. Barras verticais representam o erro padrão.....	71
Figura 7: Tratamento Sombra , gráfico <i>boxplot</i> comparando as aberturas das folhas de cada grupo de dormideiras representadas em %. T: grupo de plantas que recebeu o treinamento, C1: plantas que compartilham o vaso com T; C2: plantas que compartilham o vaso com C1; N1: plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; N2: plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.....	75
Figura 8: Tratamento Luz , gráfico <i>boxplot</i> comparando as aberturas das folhas de cada grupo de dormideiras representadas em %. T: grupo de plantas que recebeu o treinamento, C1: plantas que compartilham o vaso com T; C2: plantas que compartilham o vaso com C1; N1: plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; N2: plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.....	76

Figura 9: Tratamento **Controle**, gráfico *boxplot* comparando as aberturas das folhas de cada grupo de dormideiras representadas em %. **T:** grupo de plantas que recebeu o treinamento, **C1:** plantas que compartilham o vaso com T; **C2:** plantas que compartilham o vaso com C1; **N1:** plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; **N2:** plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.....77

Figura 10: Tratamento **Sombra**, gráfico *boxplot* comparando as médias do tempo de reação das folhas de cada grupo de dormideiras, em segundos. **T:** grupo de plantas que recebeu o treinamento, **C1:** plantas que compartilham o vaso com T; **C2:** plantas que compartilham o vaso com C1; **N1:** plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; **N2:** plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.....83

Figura 11: Tratamento **Luz**, gráfico *boxplot* comparando as médias do tempo de reação das folhas de cada grupo de dormideiras, em segundos. **T:** grupo de plantas que recebeu o treinamento, **C1:** plantas que compartilham o vaso com T; **C2:** plantas que compartilham o vaso com C1; **N1:** plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; **N2:** plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.....84

Figura 12: Tratamento **Controle**, gráfico *boxplot* comparando as médias do tempo de reação das folhas de cada grupo de dormideiras, em segundos. **T:** grupo de plantas que recebeu o treinamento, **C1:** plantas que compartilham o vaso com T; **C2:** plantas que compartilham o vaso com C1; **N1:** plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; **N2:** plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.....85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média da medida da abertura das folhas de dormideira nos tratamentos Sombra e Luz, em %, durante o ensaio sobre treinamento, no qual se acompanhou o aprendizado por habituação. Cada momento representa uma série de estímulos aplicada.....	66
Tabela 2: Médias do tempo de reação, em segundos, das plantas dormideiras às diferentes séries de estímulos (momentos) do ensaio sobre treinamento. Não foi medido o tempo de reação do momento Desabituação (Des.).....	70
Tabela 3: Abertura dos folíolos de cada planta dormideira do grupo Sombra , em %, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa a fileira onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D. P. significa desvio padrão.....	72
Tabela 4: Abertura dos folíolos de cada planta dormideira do grupo Luz , em %, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa a fileira onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D.P. significa desvio padrão.....	73
Tabela 5: Abertura dos folíolos de cada planta dormideira do grupo Controle , em %, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa a fileira onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D.P. significa desvio padrão.....	74
Tabela 6: Tempo de reação dos folíolos de cada planta dormideira do grupo Sombra , em segundos, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa a fileira de plantas onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D.P. significa desvio padrão.....	80
Tabela 7: Tempo de reação dos folíolos de cada planta dormideira do grupo Luz , em segundos, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa a fileira de plantas onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D.P. significa desvio padrão.....	81
Tabela 8: Tempo de reação dos folíolos de cada planta dormideira do grupo Controle , em segundos, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa	

a fileira de plantas onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D.P. significa desvio padrão.....82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

24h – Aproximadamente 24 horas após T0;

24h + ~20 – Aproximadamente 20 minutos após 24h.

C1 – Plantas que compartilham vasos imediatamente adjacentes às T;

C2 – Plantas que compartilham vasos não imediatamente adjacentes às T;

CCB – Centro de Ciências Biológicas;

CO₂ – Gás carbônico;

Des. – Momento em que ocorreu o teste de desabituação;

Des. + ~20 – Aproximadamente 20 minutos após Des.;

EFI – Edifício Espaço Físico Integrado;

EVA – Espuma vinílica acetinada;

HU – Hospital Universitário;

N1 – Plantas que não compartilham vasos imediatamente adjacentes às T.

N2 – Plantas que não compartilham vasos não imediatamente adjacentes às T;

r.p.m. – Rotações por minuto;

T – Plantas que receberam treinamento. O termo é aplicável às plantas do tratamento Controle, mesmo que estas não tenham recebido treinamento;

T0 – Momento da primeira série de estímulos;

T10 min – Momento 10 minutos após T0;

T1h – Momento 1 hora após T0;

T2h – Momento 2 horas após T0;

T4h – Momento 4 horas após T0;

T6h – Momento 6 horas após T0;

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina;

VOCs – Compostos orgânicos voláteis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 Contextualização.....	23
1.2 A percepção da inteligência em plantas – um breve histórico.....	25
1.3 A inteligência das plantas.....	37
1.4 Comunicação e aprendizagem em plantas.....	41
1.4.1 Comunicação em plantas.....	41
1.4.2 Aprendizagem em plantas.....	45
1.5 A <i>Mimosa pudica</i> como modelo de estudo.....	50
1.6 Aprendizado compartilhado?.....	53
1.7 Questão central e hipótese de trabalho.....	53
2 OBJETIVOS.....	55
2.1 Objetivo geral.....	55
2.2 Objetivos específicos.....	55
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
3.1 Material vegetal e condições de cultivo.....	57
3.2 Ensaio sobre treinamento.....	61
3.3 Ensaio sobre compartilhamento do aprendizado.....	63
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.1 Resultados do teste do treinamento.....	65
4.1.1 Abertura das folhas no teste do treinamento.....	65
4.1.2 Tempo de reação do teste do treinamento.....	69
4.2 Resultados do teste de compartilhamento do aprendizado.....	71
4.2.1 Abertura das folhas no teste de compartilhamento do aprendizado.....	71
4.2.2 Tempo de reação das plantas no teste de compartilhamento do aprendizado.....	79
4.3 Últimas observações.....	85
5 CONCLUSÕES.....	87
6 REFERÊNCIAS.....	89

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Sobretudo a partir dos anos 2000 um novo campo de pesquisa tem florescido dentro das ciências botânicas e crescido com vigor. Esse campo olha para as plantas com uma perspectiva sistêmica e abrangente, o que contrasta com a maneira reducionista como algumas áreas tradicionais da botânica, como a fisiologia vegetal, pesquisam e veem o seu objeto de estudo: as plantas (AMZALLAG, 2001; BRENNER *et al.*, 2006; BRENNER *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2017).

Essa maneira reducionista de estudar não é exclusiva da botânica, mas antes, faz parte de um paradigma muito mais abrangente e que tem dominado a ciência como um todo desde o século XVI, provindo da maneira cartesianista de pensar e fazer ciência (CAPRA & LUISI, 2014).

Contudo, esse paradigma, chamado analítico, se faz sentir bastante forte particularmente na botânica devido a razões históricas que remontam à Grécia Antiga e, possivelmente, há muito mais tempo no passado. As plantas, de um modo geral, sempre foram vistas como seres inferiores, inertes e insensíveis, capazes apenas de viver e sem muito mais potencial do que servir de alimento aos seres mais “superiores”, os animais (MANCUSO & VIOLA, 2015).

As pessoas, normalmente, têm dificuldade em perceber, se interessar e reconhecer a importância das plantas para a biosfera, sobretudo de um modo que não seja simplesmente utilitário para os humanos. Wandersee & Schussler chamaram esse problema de “*plant blindness*”, ou seja, cegueira para plantas, em 1998 (ALLAN, 2003). Na ciência, a fusão do pensamento analítico reducionista com a difundida cegueira para plantas levou a uma enorme subestimação do potencial das plantas em muitas de suas habilidades e ao obscurecimento de muitos campos de pesquisa com grande potencial.

Contudo, especialmente na virada para o século XXI, a ciência começou a sofrer grandes modificações, possivelmente porque o acúmulo de dados ao longo dos séculos que se fez ciência analítica permitiu às pessoas, agora, uma visão mais completa de muitas áreas, e as está fazendo reconhecer que os sistemas são muito mais complexos do que aparentam e não podem ser reduzidos às suas partes para serem plenamente compreendidos, pois o todo não é simplesmente a soma das partes que o compõe (CAPRA & LUISI, 2014; SOUZA *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2017). Para estudá-lo, se faz necessária uma abordagem

sistêmica, ou seja, não só entender o funcionamento das suas partes, mas também o funcionamento do sistema como um todo, com seus processos e relações e em seus diferentes níveis de integração.

No caso das plantas, estas são sistemas extremamente complexos, modulares e capazes de incríveis dinâmicas entre os seus módulos, que funcionam tanto individualmente como em coordenação com todas as outras partes e sem apresentar maiores centralizações de funções (LÜTTGE, 2012; MANCUSO & VIOLA, 2015). Assim, uma abordagem reducionista jamais seria capaz de compreender toda a natureza e complexidade desses seres.

Um dos aspectos que pode se perder numa abordagem analítica do estudo das plantas é a emergência do fenômeno da inteligência. Este, apesar de ser há muito tempo reconhecido e aceito para animais, raramente o foi para plantas. De um modo geral, na civilização ocidental, isso sempre foi negado categoricamente (MANCUSO & VIOLA, 2015).

No ocidente, a inteligência em plantas começou a ser efetivamente reconhecida apenas a partir do século XIX (DARWIN & DARWIN, 1880; TREWAVAS, 2003; BRENNER *et al.*, 2006). Inteligência pode ser definida como “a habilidade para resolver problemas” (MANCUSO & VIOLA, 2015, p. 106; TREWAVAS, 2016a), uma definição relativamente simples utilizada por psicólogos em geral e que, evidentemente, não exclui outros seres vivos de serem por ela abrangidos.

Para resolver os problemas impostos pelos meios biótico e abiótico, as plantas precisam constantemente monitorar todos os estímulos ambientais que puderem detectar, acima e abaixo do nível do solo, integrá-los, compará-los com experiências anteriores, computá-los e, com base em tudo isso, tomar decisões e aplicar respostas que lhes deem maiores chances de aumentar a sua sobrevivência e, secundariamente, assegurem sua reprodução. De um modo geral, o escopo da neurobiologia vegetal (também chamada de ecofisiologia vegetal sistêmica), a neonata disciplina que se propôs a estudar as plantas dessa maneira, é entender como as plantas fazem isso (BRENNER *et al.*, 2006).

Este trabalho teve como objetivo focar-se em apenas duas das diversas formas que as plantas têm para lidar com o ambiente, que são a capacidade de aprendizado e de comunicação das plantas, e integrá-las num só estudo. Existem amplas evidências de que as plantas são capazes de aprender e de comunicarem-se (TREWAVAS, 2003; GAGLIANO *et al.*, 2014; KARBAN, 2015), portanto, perguntou-se se

elas seriam capazes de transmitir a outras plantas um aprendizado. No corpo deste trabalho detalhar-se-ão melhor todas essas questões, mas inicialmente seria benéfico fazer um breve histórico da relação da percepção da inteligência nas plantas pelos seres humanos.

Afinal, apesar de não ser exatamente nova, a ideia ainda causa surpresa, consternação e, por vezes, até mesmo indignação (FLANNERY, 2002; ALPI *et al.*, 2007; REHM & GRADMANN, 2010). Portanto, é necessário ter-se uma boa base histórica e teórica antes de iniciar qualquer discussão a respeito da inteligência em plantas.

O leitor ou leitora que não estiver interessado(a) nos aspectos históricos de como se construiu a mentalidade que se tem hoje das plantas, bem como a ascensão da aceitação de inteligência em vegetais, pode passar diretamente ao item 1.3 sem maiores prejuízos. Contudo, a história faz parte da ciência, e estudá-la ajuda a compreender como os atuais paradigmas, métodos, práticas e pensamentos se estabeleceram.

1.2 A percepção da inteligência em plantas – um breve histórico

Como foi dito, um dos problemas que levaram à subestimação das plantas foi a chamada cegueira para plantas (ALLEN, 2003). A origem desta talvez já comece na fisiologia humana e na maneira como o nosso corpo evoluiu. Como animais que somos, nós vivemos em ambientes dinâmicos cujo tempo no qual os eventos são percebidos dá-se na grandeza dos segundos, minutos e horas. Além disso, é necessário priorizar o que se percebe, baseado na importância que o estímulo percebido tem para nós.

Por exemplo, a cada segundo o olho humano é estimulado por 10 milhões de bits de dados. Destes, o cérebro extrai cerca de 40 bits e somente processa completamente 16 bits, que são os que chegam à nossa percepção consciente (ALLEN, 2003). Portanto, a partir da imensa quantidade de estímulos que chegam aos nossos órgãos dos sentidos, é preciso priorizar a que se dará atenção.

Geralmente, no caso da visão, a atenção se dá a padrões específicos, objetos conhecidos, cores vibrantes, movimento e coisas potencialmente perigosas, como predadores e acidentes do terreno. As plantas, na maioria das vezes, não se encaixam em nenhum desses itens, a menos que estejam vistosamente floridas, de modo que tendem a passar despercebidas e ignoradas (ALLEN, 2003).

A relação dos seres humanos com as plantas dá-se desde antes do surgimento da linhagem dos hominídeos. Isso parece óbvio afirmar já que, como seres heterótrofos e parte da natureza, em algum momento

os humanos precisam ter contato com as plantas. Não obstante, o que se quer dizer aqui é que a linhagem humana é onívora e, portanto, um mínimo de conhecimento sobre quais plantas podem ser ingeridas e quais são venenosas ou indigestas sempre foi necessário e transmitido de geração em geração, como acontece em relação à alimentação com maioria dos animais que apresentam cuidados parentais elaborados (JABLONKA & LAMB, 2010). Aí talvez se encontrem os rudimentos da botânica.

Provavelmente a relação dos primeiros humanos com as plantas tinha um caráter puramente utilitário. Além de alimentação, é possível que muitas plantas já fossem utilizadas por populações do gênero *Homo* como medicinais. Em um sítio arqueológico de 70.000 a 15.000 anos atrás encontrado em Israel, que era ocupado por *Homo sapiens* L., foi registrado o uso de plantas para alimentação e, possivelmente, para uso medicinal também (WEISS *et al.*, 2008).

Do mesmo modo, há evidências de que os *Homo neanderthalensis* King, 1864, apesar de terem uma dieta baseada principalmente na carne, consumiam também nozes, grãos e tubérculos e, além disso, faziam uso de plantas medicinais como, por exemplo, a camomila (*Matricharia chamomilla* L.) e a mil-folhas (*Achillea millefolium* L.) (HARDY *et al.*, 2012).

O Paleolítico Superior da Europa, entre 50 e 10 mil anos atrás, é marcado por uma grande intensificação em quantidade e qualidade na produção de objetos artísticos e é famoso pelas notáveis pinturas em cavernas produzidas com grande precisão e beleza, como no caso das famosas cavernas Chauvet e Lascaux, ambas na França. Nelas, os *Homo sapiens* retrataram muitas coisas que, para eles, era simbólico, mítico e importante. São abundantes pinturas de cavalos, bisontes, leões e vários outros animais (NOIRET, 2013). Contudo, algo curioso nessas pinturas é a completa ausência de plantas.

De acordo com Patou-Mathis (2016, comunicação pessoal), os homens e mulheres daquela época sentiam uma forte identificação para com os animais, que consideravam seus pares, mas certamente desconsideravam totalmente as plantas. Elas não seriam mais do que o substrato onde a vida ocorre. Talvez nessa época iniciou-se o que hoje se chama de cegueira para plantas.

Avançando no tempo, de fundamental importância para o pensamento da civilização ocidental, e de grande influência no resto do mundo, são as tradições judaico-cristãs. Os povos judaicos surgiram no Oriente Médio em uma região desértica, onde a natureza é árida e hostil.

Assim, esses povos passaram a ter certo distanciamento da natureza (SALATINO, 2001).

Além disso, dentro de seu padrão de crenças monoteísta, os judeus não se consideravam parte da natureza. Ao contrário das religiões animistas ou politeístas, nas quais várias divindades estavam inerentes a todos os objetos e fenômenos naturais, os humanos teriam sido criados à imagem e semelhança de Deus e postos numa natureza que existia para lhes servir e manter. Os humanos estavam mais próximos da divindade do que o resto das outras criaturas (SALATINO, 2001).

Dentro das tradições desses povos, as plantas ocupavam um lugar secundário e de pouca relevância. No Velho Testamento, as plantas, bem como o resto da natureza, são para uso e domínio dos humanos. Sobre as plantas, na narração bíblica do Gênesis, Deus diz:

“Eu vos dou todas as ervas que dão semente, que estão sobre toda a superfície da terra, e todas as árvores que dão frutos que dão semente: isso será vosso alimento. A todas as feras, a todas as aves do céu, a tudo o que rasteja sobre a terra e que é *animado de vida*, eu dou como alimento toda a verdura das plantas” (BÍBLIA, Gênesis, 1, 29-31, grifo nosso).

Como se pode perceber por essa passagem, as plantas, na visão judaica da época, sequer eram consideradas seres vivos, inferiores até mesmo a “tudo o que rasteja sobre a terra”. Eram simplesmente alimento. Mais para frente no relato do Gênesis, Deus, insatisfeito com a humanidade corrompida, decide lançar um dilúvio e começar tudo de novo.

Assim, ordena a Noé e sua família, as únicas pessoas ainda justas, que construam uma arca e que nela abriguem casais de todos os animais que existem para salvá-los do dilúvio. Deus diz a Noé: “Quanto a mim, vou enviar o dilúvio, as águas, sobre a terra, para exterminar de debaixo do céu toda a carne que tiver *sopro de vida*: tudo que há na terra deve perecer.” (BÍBLIA, Gênesis, 6, 17-18, grifo nosso).

Novamente, o que deve perecer é o que tem carne e o que é vivo. As plantas não são objeto de qualquer preocupação por parte de Deus ou de Noé, uma vez que não são vivas e, portanto, não sofreriam com o dilúvio.

A visão judaica das plantas permaneceu também no cristianismo, que veio séculos depois do Velho Testamento ser escrito (e cujos cinco primeiros livros compõem a Torá judaica), e se alastrou pelo Império Romano junto da religião cristã, que serviu de cerne para a civilização ocidental (SALATINO, 2001).

A filosofia da civilização grega também teve seu papel na formação da cegueira para plantas e na ideia de que elas são seres inferiores. Aristóteles (384/383 a.C.-322 a.C.) é reconhecido como o primeiro ocidental a buscar estabelecer uma classificação dos seres vivos. No seu sistema de classificação, a primeira divisão é a dos seres providos ou não de *anima* (em grego, *psiché* — *ψυχή*), palavra que significava tanto “movimento” como “sopro de vida” (CAPRA & LUISI, 2014; MANCUSO & VIOLA, 2015).

Assim, as plantas, desprovidas de movimento, não possuíam o sopro da vida e, e por fim, não seriam vivas. Porém, percebendo que, no fim das contas, as plantas ao menos florescia e se reproduziam, Aristóteles deduziu que elas teriam uma espécie de *anima* vegetativa característica e que lhes permitia somente se reproduzirem (MANCUSO & VIOLA, 2015). As plantas, para os gregos, passaram pelo menos à classe dos seres vivos, embora como seus membros mais básicos e inferiores.

É interessante notar que a palavra *anima*, em latim, passou a significar, e deu origem, à palavra *alma*. Essa associação da vida com o sopro não é exclusiva dos gregos, mas aparece de um modo geral desde o Oriente Médio até a Índia. Também por essa razão foram grifadas as frases “animado de vida” e “sopro de vida” (*ruah*, em aramaico) nas duas citações bíblicas acima (BÍBLIA, Gênesis, 6, p. 43; CAPRA & LUISI, 2014; MANCUSO & VIOLA, 2015). Seja como for, tanto na filosofia dos povos judaico-cristãos quanto na dos povos gregos, até Aristóteles, as plantas não eram consideradas seres vivos, ao menos não como os animais. Antes de Aristóteles, as plantas sequer possuíam *anima*.

Uma exceção notável da época foi outro filósofo grego. Demócrito (460 a.C.-360 a.C.), um século antes de Aristóteles, criou a teoria atomística, que pregava que a matéria era composta por inúmeras partículas microscópicas e indivisíveis, chamadas por ele de “átomos”, e que essas partículas estavam em constante vibração e movimento. Portanto, toda a matéria, mesmo quando parada, estava em movimento, inclusive as plantas. A estas, Demócrito dava grande valor, até mesmo comparando-as a “humanos de ponta-cabeça” (MANCUSO & VIOLA, 2015).

Contudo a filosofia Aristotélica iluminou com muito mais força o pensamento ocidental ao longo da história, muito em parte por causa da adoção de sua filosofia pela Igreja Católica (CAPRA & LUISI, 2014). Durante a Idade Média, a ideia de que existe uma “escala da vida” se intensificou baseando-se no pensamento de Aristóteles.

Nesse período da história o distanciamento das pessoas com a natureza continuou muito intenso. O cristianismo, ao desmitificar o mundo, retirava da natureza a conotação sagrada que essa possuía entre os povos pagãos, pois os únicos seres sagrados são os humanos, imagens de Deus. Nas cidades, magníficas catedrais e amplas praças, como podem ser exemplificadas pela catedral de Milão e a Praça de Vigevano, ambas na Itália, glorificavam unicamente a Deus e ao intelecto humano, cuja razão foi dom divino e exclusivo. A natureza (árvores, flores, jardins), estava excluída das cidades e do convívio urbano (SALATINO, 2001).

Ao mesmo tempo, as áreas naturais eram vistas com desconfiança e medo. Devido à influência pagã, bosques e florestas eram considerados locais perigosos, povoados por bandidos, bestas selvagens e criaturas mágicas (LIEUTAGHI, 2012).

É interessante notar, contudo, que no imaginário dos povos orientais as plantas tinham um lugar de mais “dignidade”, estando bastante presentes no cotidiano e na religiosidade. Os antigos egípcios veneravam o papiro (*Cyperus papyrus* L.) e a flor-de-lótus (*Nelumbo* sp.), assim como os hindus, que atribuíam à flor o significado da pureza, pois, apesar de emergir do lodo, ela consegue manter-se ilibada (LIEUTAGHI, 2012).

Para os budistas, a mãe de Sidarta Gautama, que se tornaria o Buda, deu à luz segurando um ramo da árvore *shala* (*Shorea robusta* Roth), e que o próprio Buda alcançou a iluminação meditando sob uma figueira, que se tornou sagrada para os budistas e até hoje pode ser encontrada na proximidade de muitos templos (LIEUTAGHI, 2012). Não por acaso a árvore recebeu o nome de *Ficus religiosa* L.

No Japão e na China geralmente os templos estão circundados por jardins, árvores, como a sagrada *Ginkgo biloba* L., arbustos e flores, pois, para esses povos, a contemplação da natureza convida à meditação e a exercitar a espiritualidade (SALATINO, 2001).

Voltando ao Ocidente, durante a Idade Média inicia-se uma busca por compreender a fé cristã através de um sistema de pensamento racional e organizado, conhecido como Escolástica. No século XIII, São Tomás de Aquino (1225-1274), expoente desse movimento, buscou juntar o pensamento aristotélico à teologia cristã. Para Aquino, havia

uma clara separação entre a maneira de investigar o mundo natural e o divino. Deus teria criado um universo com leis imutáveis e a compreensão de Sua obra se daria através do estudo da Bíblia e da natureza. A fé cristã foi racionalizada e, ao mesmo tempo, lançaram-se aí as bases para o que se tornaria o pensamento científico moderno (CAPRA & LUISI, 2014).

Mais tarde, com a Renascença, muitos escritos gregos e clássicos foram sendo redescobertos e estudados. Surgiu uma grande valorização do ser humano e, sobretudo, do seu intelecto. Conhecer o mundo de modo empírico e sistemático passou a ser considerado uma necessidade imperiosa. Nessa época, a ciência como conhecemos hoje começou a tomar forma.

Muitos apontam Galileu Galilei (1564-1642) como o fundador da ciência moderna, embora Leonardo da Vinci (1452-1519) também tenha desenvolvido métodos de abordar a busca pelo conhecimento de uma forma empírica. Seja como for, o mundo e o universo eram cada vez mais vistos como uma espécie de máquina, com regras e leis definidas e todas as suas peças interagindo, e caberia ao ser humano descobrir esse funcionamento (CAPRA & LUISI, 2014).

Para Galileu, a natureza devia ser descrita matematicamente, de modo que o cientista deveria estudar as propriedades do mundo material que pudessem ser mensuradas e quantificadas, e outras qualidades consideradas subjetivas como cor, cheiro e sabor deveriam ser excluídas do âmbito da ciência (CAPRA & LUISI, 2014).

Mais tarde, surge uma personalidade extremamente importante para a história da ciência: René Descartes (1596-1650). Brilhante filósofo e cientista, Descartes estabeleceu a ideia mecanicista do mundo e fundamentou o pensamento analítico de que o todo pode, e deve, ser reduzido às suas partes para ser compreendido. A esse respeito dizem Capra & Luisi (2014):

O universo material era uma máquina para ele, assim como os organismos vivos também eram máquinas, e podiam, em princípio, ser compreendidas completamente analisando-as em função de suas menores partes. (CAPRA & LUISI, 2014, p. 31).

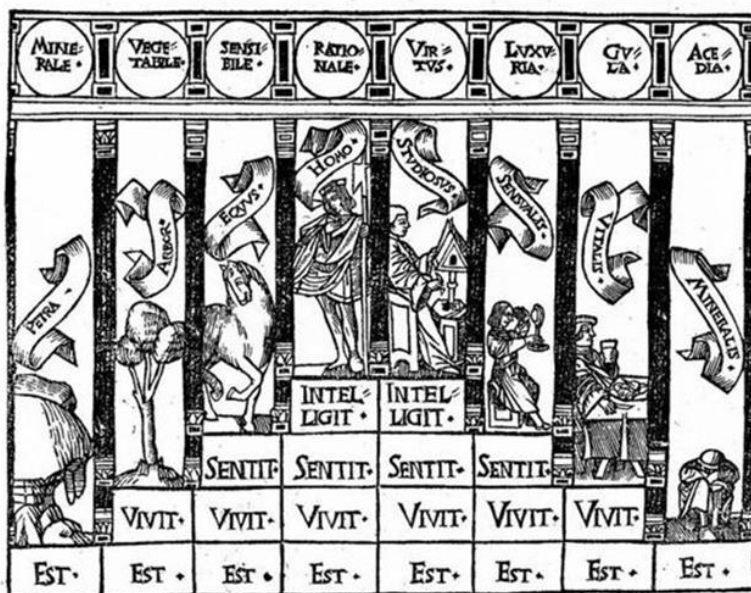
Estava estabelecido o paradigma analítico que viria a dominar, com algumas poucas perturbações, a ciência até os dias de hoje. Em relação às plantas, apesar de todas essas mudanças e avanços no

pensamento científico, continuaram sendo consideradas seres dos mais basais.

No Renascimento, a ideia da escala da natureza que os antigos gregos tinham continuou bastante forte, embora, agora, para os acadêmicos empiricistas desse período, Deus e tudo o que fosse sobrenatural (querubins, anjos, etc.) que faziam parte dessa escala estavam eliminados, deixando o ser humano ocupando o ápice da criação.

Uma gravura que ilustra bem o pensamento da época a esse respeito pode ser a que se encontra no *Liber de Sapiente* (Livro da Sabedoria) de Charles de Bovelles (1479-1567) publicado em 1509 (Figura 1). Nessa gravura, intitulada *A Pirâmide dos Viventes*, pode-se admirar em que posição cada categoria dos seres ocupava, e baseados em que critérios (MANCUSO & VIOLA, 2015).

Figura 1: *A Pirâmide dos Viventes*, ilustração do *Liber de Sapiente*, de Charles de Bovelles (1509).



Fonte: The Boston Globe, 2015.

Como se pode perceber, as criaturas ocupam quatro posições. A primeira delas é ocupada pelos minerais, cuja única propriedade é “ser” (*est*). Em seguida tem-se as plantas, que além de serem, apenas vivem (*vivit*). Estão abaixo dos animais, que além de serem e viverem, sentem (*sentit*), e esses estão abaixo ainda dos humanos, considerados o píncaro da criação que, além de todas essas propriedades, são inteligentes (*intelligit*).

Pois, o pensamento mecanicista do mundo e a ideia analítica e reducionista perduram até os dias de hoje, bem como a ideia de que as plantas sejam seres básicos, automáticos, que “apenas vivem” e nada mais.

No que diz respeito às plantas, estas passaram a receber um pouco mais de atenção pela ciência a partir do século XVII, quando dedicar-se ao seu estudo e coleção era considerado um agradável passatempo para as elites da época, pois, nas palavras de Jordanova (1990), consistia em “uma combinação única de deleites estéticos e intelectuais” (JORDANOVA, 1990, tradução nossa).

No século XVIII, o estudo das plantas serviu de base para uma das mais importantes conquistas das ciências biológicas: a taxonomia e o sistema de classificação binomial, criado pelo botânico suíço Gaspard Bauhin (1560-1624) e aperfeiçoado e difundido pelo grande naturalista sueco Carl von Linné (1707-1778). Contudo, mesmo assim, a visão de que plantas eram seres inferiores persistia tenazmente.

Linné, estudando a posição que folhas e flores de certas plantas assumiam ao anoitecer, chegou a considerar que elas dormissem, uma atividade associada a animais, o que poderia ser um prenúncio de reconhecimento de que as plantas não eram tão inferiores assim. Contudo, o naturalista admitia a superioridade animal sobre os vegetais a tal ponto que se recusava até mesmo a admitir que algumas plantas fossem capazes de caçar e se alimentar de animais, como ele certamente viu acontecer com a *Dionaea muscipula* Ellis (MANCUSO & VIOLA, 2015).

Somente no século XIX é que algumas similaridades e analogias entre plantas e animais passaram a ser reconhecidas, com cientistas dos mais ilustres começando a estudar cuidadosamente os vegetais, chegando a importantes descobertas. Alexander von Humboldt (1769-1859) descobriu que os mecanismos bioelétricos de plantas e animais seguiam princípios semelhantes. Os potenciais de ação das células foram descobertos por Emil du Bois-Reymond (1818-1896) ao estudar as respostas elétricas de plantas a ferimentos. Julius von Sachs (1832-1897) foi um dos primeiros fisiólogos vegetais, e ainda pode-se

citar Wilhelm Pfeffer (1845-1920) e Gottlieb Haberlandt (1854-1945) (BRENNER *et al.*, 2006).

Ainda no século XIX, destacam-se os estudos realizados por Charles Darwin e seu filho, Francis. Ambos conduziram um grande número de cuidadosos experimentos em relação ao comportamento das plantas submetidas a diversos tratamentos e estudaram respostas ao toque, à umidade, tropismos, entre outras. Como resultado, compilaram seus achados em um importante livro intitulado *The Power of Movement in Plants*, publicado em 1880. Esse livro é considerado o marco fundador da neurobiologia vegetal (BRENNER *et al.*, 2006). No último parágrafo do livro, pai e filho concluem:

It's hardly an exaggeration to say that the tip of the radicle thus endowed, and having the power of directing the movement of the adjoining parts, acts like the brain of one of the lower animals; the brain being seated within the anterior part of the body, receiving impressions from the sense-organs, and directing the several movements. (DARWIN & DARWIN, 1880).

Era evidente, para eles, que as plantas possuíam algum tipo de inteligência, no mínimo comparável a “*one of the lower animals*”, pois o comportamento que o ápice das raízes apresentava era semelhante ao que os vermes realizam na sua busca por alimentos e deslocamentos pelo solo (lembrando que Charles Darwin estudou por muito tempo minhocas).

Naturalmente, todas essas descobertas que confrontavam diretamente a ideia de plantas como os seres vivos mais inferiores foram extremamente controversas e, desde o princípio, negadas. Por exemplo, Julius von Sachs, ao submeter sua tese de doutorado em fisiologia vegetal à Universidade Carolina de Praga, recebeu-a de volta com o comentário de que fisiologia vegetal não existe! (BRENNER *et al.*, 2007).

Contudo, estudos continuaram sendo realizados e, pouco a pouco, foram demonstrando que as plantas de fato não são tão simples e basais como se imaginava. Francis Darwin continuou suas pesquisas em fisiologia vegetal e tornou-se um importante cientista nesse campo, sempre convicto de que as plantas fossem inteligentes. Contam Mancuso & Viola (2015) que “em 2 de setembro de 1908, [...] na abertura do congresso anual da *British Association for the Advancement*

of Science, [Francis Darwin] deixou de lado qualquer cautela e declarou: ‘as plantas são seres inteligentes’” (MANCUSO & VIOLA, 2015, p. 22, tradução nossa). Como era de se esperar, a sua declaração causou grande comoção no meio científico.

Apesar desse começo alvissareiro, ao longo do século XX, com a ascensão cada vez mais forte de um pensamento analítico cada vez mais reducionista, os estudos em inteligência de plantas foram sendo aos poucos obliterados, embora não tivessem sido interrompidos. Além disso, o pensamento aristotélico de que plantas não podiam realizar funções complexas, pois não possuíam órgãos centralizadores, e tampouco poderiam ser inteligentes, pois careciam de um cérebro (“*no brain, no gain*”, ver ALPI *et al.*, 2007), relegou os estudos em neurobiologia vegetal aos bastidores da ciência.

Para piorar a situação, em 1973, uma época de ideologias *hippies* e *new ages*, Peter Tompkins e Christopher Bird publicaram um livro intitulado *The Secret Life of Plants*. Este livro trazia uma mistura de experimentos sérios com outros bastante pseudocientíficos e muitas conclusões duvidosas, como as de que as plantas eram seres conscientes, possuíam emoções e podiam compreender os pensamentos e as intenções humanas (BRENNER, 2006).

Como era de se esperar, esse livro maculou gravemente um campo de pesquisa sério e válido e o lançou definitivamente ao ostracismo. A partir de então, qualquer analogia das plantas com os animais, qualquer sugestão de que as plantas tivessem inteligência ou o que quer que fosse era praticamente considerado heresia científica. O estudo da inteligência em plantas permaneceu na obscuridade ao longo de todo o resto do século XX (BRENNER, 2006; POLLAN, 2014).

Em meados desse mesmo século, porém, um novo paradigma começou a surgir e ganhar força. Esse paradigma questiona a eficácia do método analítico e propõe que o universo e os fenômenos naturais não são organizados de modo linear, seguindo os princípios de causa e efeito e ação e reação que sempre reinaram na ciência, mas que estariam, pelo contrário, organizados em redes de relações e níveis de integração diferentes, todos interagindo entre si e se influenciando mutuamente. Tratava-se do pensamento sistêmico (CAPRA & LUISI, 2014).

Um marco no desenvolvimento desse paradigma pode ser considerado a publicação do livro *Teoria Geral dos Sistemas*, do biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy em 1968. Nesse livro, Bertalanffy formulou, “pela primeira vez, um arcabouço teórico abrangente descrevendo os princípios de organização dos seres vivos” (CAPRA & LUISI, 2014). De acordo com a teoria geral dos sistemas, os

seres vivos passam a ser vistos como sistemas abertos, auto-organizados e organizados por uma rede de interações entre suas partes que, por sua vez, são redes de interações entre as partes que as compõe também, e assim por diante.

Ou seja, para entender um organismo vivo, não basta dividi-lo em seus menores componentes, pois além de ser praticamente impossível e provavelmente levaria a uma redução *ad infinitum* dos objetos de estudo, muita informação se perderia em níveis superiores de organização, que emergem a partir da interação das partes. O sistema vivo precisa ser estudado, também, como um todo para ser compreendido.

Esse tipo de pensamento abriu caminho para uma nova compreensão das plantas, que são um belíssimo exemplo de uma rede de subsistemas interagindo e formando um sistema maior, devido ao seu caráter modular (LÜTTGE, 2012; SOUZA *et al.*, 2016).

Assim, ao final dos anos 1990 e início de 2000, começou-se novamente a se falar em inteligência de plantas e o campo rebrotou com vigor, o que provavelmente era inevitável (TREWAVAS, 2003, 2005). Em 2006, Brenner *et al.* publicaram um artigo na revista científica *Trends in Plant Science* e inauguraram oficialmente dentro das ciências botânicas a nova disciplina da neurobiologia vegetal. Pouco depois, surgiu uma sociedade científica voltada ao tema, a *Society for Plant Neurobiology* e uma revista especializada (BRENNER *et al.*, 2006, 2007).

Naturalmente, como era de se esperar, esse ressurgimento foi marcado por grandes controvérsias, além de muita resistência e acaloradas discussões no meio científico (FLENNERY, 2002; HERSHEY, 2005; ALPI *et al.*, 2007; BRENNER *et al.*, 2007; TREWAVAS, 2007; REHM & GRADMAN, 2010; Pollan, 2014). Contudo, essas discussões não impediram que novas pesquisas fossem realizadas e novas descobertas fossem feitas, consolidando cada vez mais o campo.

Atualmente, a neurobiologia vegetal está em vigoroso crescimento, com cada vez mais estudos se acumulando sobre as habilidades das plantas para lidarem com os meios biótico e abiótico de maneira inteligente. Afinal, como dizem Mancuso & Viola (2015), no que diz respeito a lidar com os problemas que lhes são impostos, as plantas estão em pé de igualdade com os animais para resolvê-los.

Tem se tentado explicar, então, como ocorre o fenômeno da percepção do mundo por parte das plantas, e como funcionam, na ausência de um sistema nervoso central, os mecanismos de recepção,

integração, cognição, memória, escolha, etc., nas plantas. Ou seja, tentar explicar quais são as bases da inteligência em plantas (CALVO, 2016).

Já se avançou muito no compreender como se dá a sinalização elétrica em vegetais, tanto a nível local quanto sistêmico (HEDRICH *et al.*, 2016); a função e o mecanismo de moléculas sinalizadoras, inclusive aquelas homólogas às dos animais, como os neurotransmissores GABA, acetilcolina, serotonina, etc. (BRENNER *et al.*, 2006), e a transmissão dessas substâncias por meios homólogos aos dos animais, como através das sinapses com ciclagem de membranas para a transmissão de auxina (BALUŠKA *et al.*, 2005).

Essa abordagem do estudo das plantas de modo sistêmico, integrado e consciencioso tem se desenvolvido a tal ponto em que hoje já se fala em uma “filosofia da neurobiologia vegetal” (CALVO, 2016) para ajudar a estabelecer termos e definições sólidas, nortear experimentos e auxiliar na proposição de perguntas científicas.

Enfim, o objetivo da neurobiologia vegetal é compreender como as plantas percebem o meio que as circunda, com seus diversos sentidos, integram essas informações, processam, armazenam e as usam para maximizar as suas chances de sobrevivência. Nas palavras de Brenner *et al.* (2006):

How plants acquire information from their environment, both abiotic and biotic, and integrate this information into responsive behavior is the focus of the emerging field of plant neurobiology. (BRENNER *et al.*, 2006).

Naturalmente, como seria de se esperar, o próprio termo “neurobiologia vegetal”, apesar de recente, já é marcado de controvérsias e também levou a muitas discussões. De um lado, uns defendem que os sistemas de sinalização entre células vegetais são análogos aos dos animais, portanto o termo é válido, e ainda clamam que o sufixo *neuro-* provém da palavra grega *neuron* (νευρον) que significa “fibra vegetal”. Contudo, com a expansão do campo de pesquisa outros nomes foram sugeridos, e inclusive a própria sociedade mudou seu nome em 2009 para *Society for Plant Signaling and Behavior* (BRENNER, 2006; SPS&B, 2015).

Souza *et al.* (2016) propõem o termo “fisiologia vegetal sistêmica” ou, melhor ainda, “ecofisiologia sistêmica”. Esse é um termo devidamente abrangente por considerar as plantas como sistemas abertos, inteligentes e em profundo acoplamento com seu meio, o que

concorda com o paradigma sistêmico. Como consideramos esse termo mais adequado para se referir a uma área de estudo muito mais abrangente, a partir daqui utilizar-se-á o termo “ecofisiologia sistêmica” para se referir a “neurobiologia vegetal”.

Em resumo, desde o surgimento da humanidade as plantas são vistas como seres inferiores aos animais, sendo consideradas os mais simples seres vivos, uma posição mais de uma vez reafirmada ao longo da história, sobretudo da história ocidental, o que deu origem ao problema da cegueira para plantas. Somado a isso, o pensamento analítico cartesiano que surgiu no século XVII definiu a maneira que se fez ciência pelos 400 anos seguintes, de um modo que dificilmente seria possível analisar o fenômeno da inteligência em plantas. Porém, com a ascensão do pensamento sistêmico e o acúmulo de dados em biologia vegetal, abriu-se o caminho para uma nova compreensão das plantas.

Esse novo campo de estudos tem o potencial para mudar completamente a percepção que os seres humanos têm das plantas desde o surgimento do *Homo sapiens*.

1.3 A inteligência das plantas

Para iniciar qualquer discussão a respeito da inteligência em plantas é preciso ter-se uma definição clara do que seja, afinal, inteligência. De acordo com Trewavas (2016b), Legg & Hunter em 2007 compilaram cerca de 70 definições diferentes do conceito de inteligência e chegaram a três generalizações:

Intelligence (a) is a property that an individual has as it interacts with its environment or environments, (b) is related to the agent's ability to succeed or profit with respect to some goal or objective, and (c) depends on how able the agent is to adapt to different objectives or environments. (TREWAVAS, 2016b).

Plantas são perfeitamente capazes de se encaixarem em cada um desses itens, uma vez que (a) elas estão constantemente interagindo com o seu meio através de suas estruturas sensoriais, além de explorarem-no em busca de recursos por meio do crescimento de suas raízes e ramos, (b) são capazes de demonstrarem intencionalidade e buscam atingir objetivos, bem como aproveitar-se de experiências passadas para isso. Esse tópico fica claro, por exemplo, ao se observar

que as plantas, na sua busca por luz, crescem na direção que lhes parece mais provável de encontrá-la, mesmo que ainda não estejam sombreadas; ou no caso de gavinhas que, ao encostarem em um suporte que não lhes parece adequado, largam-no e buscam outro melhor (TREWAVAS, 2016b; GAGLIANO *et al.*, 2016) e (c) o seu comportamento varia conforme o ambiente, adaptando-se mais ou menos rapidamente ao meio dependendo de quais são as necessidades da planta (GAGLIANO *et al.*, 2014).

Muitos psicólogos também definem inteligência, de um modo geral, como a “capacidade de resolver problemas” (MANCUSO & VIOLA, 2015; TREWAVAS, 2016b). Por essa definição, fica mais fácil ainda dizer que as plantas são seres dotados de inteligência, pois de fato são perfeitamente capazes de resolverem os problemas que lhes são impostos pelos meios biótico e abiótico no seu esforço pela sobrevivência.

Trewavas (2003, 2016b) usa também a definição de Stenhouse (1974 *apud* TREWAVAS, 2003), que após estudar a evolução da inteligência em animais, concluiu que a mesma seria um “comportamento adaptativo variável ao longo da vida de um indivíduo” (STENHOUSE, 1974 *apud* TREWAVAS, 2003, tradução nossa). Naturalmente, como exclui a necessidade de um sistema nervoso central, essa definição pode ser perfeitamente aplicada a plantas, pois essas são capazes de modificar o seu comportamento ao longo da vida de um modo que as mantenha adaptadas ao ambiente.

Talvez a primeira característica para que a inteligência se manifeste é a percepção do meio. O único modo da cognição ocorrer (um processo básico para que haja o fenômeno da inteligência) é através da recepção de informações do mundo externo ao organismo através de alguma estrutura sensorial (MATURANA & VARELA, 2001).

Sabe-se há muito que plantas percebem a luz em uma grande variedade de frequências de ondas, e normalmente direcionam seu crescimento a ela, no caso da parte aérea, ou fugindo dela, no caso das raízes. Estas ainda podem sentir a gravidade e crescer em direção a essa força e também perseguir gradientes crescentes de umidade (TAIZ & ZEIGER, 2004; TREWAVAS, 2005).

Porém, além disso, plantas podem perceber muitos outros fatores ambientais. Já se demonstrou que plantas são capazes de receber e interpretar vibrações sonoras, e responder a elas, bem como modulam seu comportamento e fisiologia de acordo com o som que lhes chega (GAGLIANO *et al.*, 2012; CYPRIANO, 2013; APPEL & COCROFT, 2014), o que pode ser considerado audição, pois o efeito final é o

mesmo. É desnecessário dizer que, para receber as ondas sonoras de modo utilizável pelo organismo não se requer um aparelho auditivo específico para tal. Serpentes e alguns anfíbios são exemplos claros disso. O estudo da emissão e recepção do som por parte das plantas tem dado origem, inclusive, a outra disciplina completamente nova: a bioacústica de plantas (GAGLIANO *et al.*, 2012).

Além de audição, plantas têm uma grande capacidade de perceber pelo menos uma dezena de estímulos diferentes do ambiente, como pH, magnetismo, nutrientes, metais pesados, tato, compostos químicos voláteis, etc. (MANCUSO & VIOLA, 2014). A planta parasita *Cuscuta pentagona* Engelm., por exemplo, é capaz de localizar e perseguir os seus hospedeiros através do “cheiro” que eles emitem. Entre trigo e tomateiro, ela escolhe o que for mais adequado ao parasitismo apenas pelos compostos voláteis emitidos por essas plantas (RUNYON *et al.*, 2006).

Os exemplos citados acima são alguns dos estímulos que são percebidos e integrados pelas plantas para realizar respostas inteligentes que maximizem suas chances de sobrevivência e *fitness*. Com efeito, esses estudos têm corroborado cada vez mais fortemente com a ideia de que plantas são, de fato, inteligentes e dotadas de cognição, memória, aprendizagem, atenção e tomada de decisão (TREWAVAS, 2005, 2016a; MANCUSO & VIOLA, 2015; CALVO, 2016).

Trewavas (2005) comenta que, diferentemente dos animais, as plantas manifestam sua inteligência não através de movimento, mas por plasticidade fenotípica, direcionando o crescimento dos órgãos para algum objetivo. Ele cita, por exemplo, o caso de um ramo de arbusto crescendo em uma região sombreada. Ao buscar a luz, seu alimento, ele não irá se deslocar para um lugar com mais recursos, como um animal faria, mas crescerá mais rapidamente produzindo entrenós alongados e poucas folhas. Ao chegar a um lugar mais iluminado, o crescimento será mais lento, os entrenós serão menores e as folhas serão mais abundantes. A planta “para” para forragear, do mesmo modo que um animal faria (TREWAVAS, 2005).

Plantas continuamente necessitam tomar decisões. Para absorver o máximo de luz precisam decidir quais folhas posicionar e como. Decidem quando é a época propícia para florescer, quando é o melhor momento para germinar, onde investir recursos na criação de novos ramos e saber quais e quantos estômatos manter abertos para otimizar a captação de CO₂ e mitigar a perda de água — um problema complexo que requer uma notável capacidade de computação (PEAK *et al.*, 2004; TREWAVAS, 2016a, NÉE *et al.*, 2017).

Além disso, quando estão em uma situação de risco e precisam tomar uma decisão, mas não têm acesso a informações que tornariam a decisão mais inteligente, plantas, assim como os animais, apostam numa alternativa, mesmo que haja alto risco de ser a errada (DENER *et al.*, 2016).

Existem já sólidas evidências de que as plantas são capazes de apreender informações, armazená-las de algum modo e acessá-las quando necessário. Ou seja, plantas são capazes de aprender (TREWAVAS, 2003).

Em experimentos nos quais árvores jovens eram regadas apenas uma vez ao ano, elas memorizavam o período em que receberiam água e, quando se aproximava a época, sincronizavam o seu crescimento com a proximidade da rega. O estímulo para enrolar as gavinhas pode perdurar horas a dias em plantas trepadeiras (TREWAVAS, 2005). Para Barlow (2008), o mecanismo que faz com que a *Dionaea muscipula* feche a sua armadilha é um tipo de memória rápida, pois um ou dois tricomas devem ser estimulados num intervalo de 20 segundos para que o mecanismo seja acionado. A mesma planta, inclusive, é capaz de contar até cinco, pois o número de estímulos que ela recebe nos tricomas tem um significado fisiológico especial sobre que comportamento realizar (BÖHM *et al.*, 2016).

Monica Gagliano e colaboradores (2014) demonstraram que a planta dormideira (*Mimosa pudica* L.) é capaz de distinguir estímulos perigosos de inócuos e aprender a ignorar esses últimos, ou seja, manter suas folhas abertas quando estimulada, e essa memória pode durar até um mês (GAGLIANO *et al.*, 2014). Esse estudo será melhor detalhado mais adiante.

Dentre os vários estímulos que chegam às plantas continuamente em todas as partes de seus corpos, e vindos de ambientes tão diferentes como os meios subterrâneo e aéreo, as plantas conseguem focarem-se nos estímulos que são mais importantes a elas no momento. Isso levou Marder (2013) a chamar esse comportamento de “atenção”, redefinindo o conceito de atenção de um modo que possa abranger todos os reinos dos seres vivos.

Todas as propriedades expostas acima demonstram que as plantas são seres inteligentes, pois têm a capacidade de perceber o seu meio, entendê-lo, adaptar o seu comportamento ao longo da vida e resolver problemas, especialmente baseadas em experiências passadas (memórias).

Por fim, não só as plantas, além dos animais, podem ser consideradas inteligentes. Há quem defenda que, na verdade, a

inteligência (e a cognição) são propriedades inerentes aos sistemas vivos, de bactérias a vertebrados (MATURANA & VARELA, 2001; BALUŠKA & MANCUSO, 2009).

Com efeito, é compreensível que os seres vivos, como sistemas abertos que são, e dotados de inúmeros mecanismos de retroalimentação positiva e negativa para regular o funcionamento das redes de interações entre suas partes, precisam estar em constante acoplamento com o seu ambiente e lançando mão de todos os meios possíveis para garantir o influxo de matéria e energia de que dependem para se manterem (COVENEY & HIGHFIELD, 1993; MATURANA & VARELA, 2001; SOUZA *et al.*, 2017).

A emergência da inteligência nos seres vivos em ambientes constantemente variáveis lhes permite resolver os problemas envolvidos na manutenção de sua organização em sua contínua luta contra a entropia sem que, necessariamente, a informação para resolver esses problemas esteja no “*hardware*” do sistema, como uma posição genecêntrica poderia sugerir, mas sim emergir das interações em rede das partes do sistema, cujo “*hardware*” apenas garante certa plasticidade para resolver o problema que é definido pelos *inputs* (i.e. estímulos percebidos pelo organismo) que o sistema recebe (SOUZA *et al.*, 2017).

1.4 Comunicação e aprendizagem em plantas

1.4.1 Comunicação em plantas

Antes de se discutir a comunicação em plantas, é preciso, também, definir o que é comunicação. Esse é um tópico problemático e muitos autores já debateram o que pode ou não ser considerado comunicação (KARBAN, 2015).

De um modo geral, comunicação pode ser definida como “um comportamento que provê informação de um remetente a um receptor” (KARBAN, 2015, p. 4, tradução nossa). Normalmente, para que haja comunicação, é preciso que o receptor responda ao sinal que foi emitido.

Plantas comunicam-se constantemente. A comunicação já ocorre dentro de seus próprios corpos, entre células, partes da planta e órgãos. Essa comunicação pode ser tanto química quanto elétrica e até mesmo hidráulica (MANCUSO & VIOLA, 2015; TREWAVAS, 2016a,b; HEDRICH *et al.*, 2016). Assim, as plantas são capazes de manterem a integração entre os módulos que as compõem, “saberem” o que acontece em cada uma de suas partes, reconhecerem-se como

indivíduos e entenderem seus limites físicos (FALIK *et al.*, 2003, 2006; HAMANT & MOULIA, 2016).

Porém, as plantas também se comunicam com outras plantas da mesma espécie ou não, com animais, fungos e até mesmo micro-organismos (KARBAN, 2015). Essa comunicação pode acontecer por diferentes meios, como compostos orgânicos voláteis (VOCs – *Volatile Organic Compounds*, em inglês). No caso dos VOCs, as plantas frequentemente os utilizam como uma comunicação de alerta para indicar a outras partes da mesma planta ou outras plantas mais distantes que há herbívoros por perto, o que induz as receptoras a sintetizarem substâncias químicas de defesa antes mesmo que tenham sido predadas (KARBAN *et al.*, 2013, 2014; KARBAN, 2015; TREWAVAS, 2016a).

A comunicação entre plantas e animais tem sido muito estudada também, especialmente a comunicação de “socorro”, quando plantas que estão sendo atacadas por herbívoros recrutam os predadores de seus herbívoros para mitigar o ataque. Os VOCs que elas exalam podem tanto ser os mesmos usados para alertar outras plantas sobre a predação quanto VOCs específicos para atrair os predadores carnívoros que não seriam, por exemplo, emitidos no caso de um dano mecânico às plantas (DE MORAES *et al.*, 1998; DICKE *et al.*, 1999; DICKE & VAN LOON, 2000; SCHNEE *et al.*, 2006; KARBAN, 2015).

Essa comunicação de “socorro” pode ser feita, também, no subsolo. Já foi demonstrado que o teosinto e variedades antigas de milho, ao serem atacadas por larvas do besouro *Diabrotica virgifera* LeConte, 1868, liberam sesquiterpenos no solo que atraem nematoides carnívoros que se alimentam das larvas (RASMANN *et al.*, 2005).

Plantas também podem prover abrigo ou alimento para manter insetos carnívoros por perto, de modo que eles as defendam de eventuais herbívoros que se aproximem. A produção de néctar extrafloral e domácias pode ser influenciada por VOCs (*e.g.* ácido jasmônico), de modo que mais formigas e outros insetos predadores são atraídos às plantas que recebem essa informação (KARBAN, 2015).

Embaúbas (*Cecropia* spp.) experimentalmente danificadas emitiram compostos voláteis que atraíram uma maior quantidade de formigas do gênero *Azteca* do que plantas que não haviam sido danificadas (AGRAWAL, 1998; AGRAWAL & DUBIN-THALER, 1999 *apud* KARBAN, 2015).

As flores de acácias que possuem formigas guardiãs vivendo nelas emitem compostos repelentes para que as formigas não se aproximem das flores férteis, pois assim elas acabariam atacando

polinizadores, o que é uma comunicação entre a planta e as formigas (RAINE *et al.*, 2002).

Outra importante forma de comunicação em plantas é através de interações químicas entre as raízes, por meio de compostos químicos exsudados pelas mesmas. Se uma planta sofre algum estresse, seja ele biótico ou abiótico, pode transmitir sinais a outras plantas próximas de modo que elas saibam do estresse iminente. Estudos já foram feitos colocando plantas em fileiras e mesmo plantas não estressadas transmitem a informação a outras (FALIK *et al.*, 2011, 2012; SONG, Y., 2010; SONG, G. *et al.*, 2016).

Esse tipo de comunicação pode ser feito diretamente entre as raízes ou por intermédio de fungos micorrízicos que conectam as raízes de uma planta a outra. Assim, mesmo que estejam distantes umas das outras ou não compartilhem o mesmo espaço as plantas podem se avisar, por exemplo, do ataque de algum patógeno (SONG, Y. *et al.*, 2010).

Além de substâncias químicas de informação, plantas podem permutar nutrientes, carbono e água em relações mutualísticas. Através de uma rede de micorrizas comum até mesmo espécies diferentes interconectam-se para trocar essas substâncias (SIMARD *et al.*, 1997a,b; SIMARD, 2009; SIMARD *et al.*, 2012). Isso permite uma colaboração única entre as plantas e é de especial importância para a auto-organização, estruturação e resiliência das florestas que foram estudadas até o momento (BEILER *et al.*, 2010).

Simard (2009) aponta para o importante papel que as árvores-mãe (“*hub trees*” – SIMARD, 2009) têm na estruturação das florestas. Como essas árvores geralmente são muito velhas e grandes, sua copa se sobressai no dossel da floresta, fazendo com que elas tenham acesso a uma grande quantidade de luz solar. Essas árvores são essenciais para o estabelecimento de novas plântulas no sub-bosque porque transferem, através das redes de micorrizas, carbono para as plântulas que estão no sub-bosque e não têm acesso à luz solar direta.

Beiler *et al.* (2010) mapearam em uma parcela de floresta temperada do Canadá todas as conexões que as árvores da área de estudo fazem e chegaram à conclusão de que a arquitetura dessas conexões é incrivelmente semelhante à da internet. Elas foram apelidadas, por Beiler *et al.* (2010) de “*wood-wide web*”.

O papel das micorrizas para a nutrição e crescimento das plantas já é amplamente reconhecido (TAIZ & ZEIGER, 2004). Porém, como esses estudos têm demonstrado, é possível que todas as árvores de uma floresta estejam conectadas por essa rede comum de micorrizas,

trocando nutrientes, água e informações constantemente (BEILER *et al.*, 2010).

A comunicação pelas raízes permite, também, que as plantas se reconheçam quanto ao nível de parentesco (*i.e.* semelhança genética), o que influencia diretamente a maneira como as plantas reagem. De um modo geral, elas tendem a evitar a competição, e até aumentar a cooperação, quando são geneticamente próximas, e competir mais quando são geneticamente distantes, o que pode sugerir a evolução de características como a cooperação e o altruísmo (DUDLEY & FILE, 2007; MURPHY & DUDLEY, 2009; FALIK *et al.*, 2013; BERTOLLI, 2015).

As plantas comunicam também com micro-organismos. Inicialmente, elas têm capacidade de distinguir entre micro-organismos patogênicos de não patogênicos e montar respostas imunes adequadas ao combate de patógenos (JONES & DANGL, 2006). Para os micro-organismos não patogênicos, como o caso das bactérias fixadoras de nitrogênio, a planta estabelece uma complexa comunicação com as mesmas para ter “certeza” de que as bactérias que estão tentando entrar em suas raízes não são patogênicas (KARBAN, 2015). Essa estreita junção de células com troca de substâncias químicas é chamada por Baluška *et al.* (2005) de sinapse imunológica.

Os casos mais bem estudados são os das leguminosas. De um modo muito resumido, essas plantas secretam no solo flavonoides e betaninas que atraem bactérias rizóbias do solo até os seus pelos radiculares. Uma vez lá, alguns genes bacterianos são ativados e levam à síntese de moléculas sinalizadoras, chamadas fatores de nodulação. A planta, então, reconhece essas moléculas e responde a sinais específicos induzindo a variações no teor de cálcio da epiderme das raízes. Nesse momento as bactérias conseguem aderir às células dos pelos radiculares, o que induz ao seu dobramento e consequente engolfamento das bactérias. Estas, então, secretam enzimas que degradam a parede celular da raiz e penetram nas células. A partir daí, células corticais começam a se proliferar e formar os característicos nódulos que abrigam as bactérias. Uma comunicação química complexa como essa também ocorre antes da infecção por micorrizas arbusculares (OLDROYD, 2013).

Por fim, muitos outros mecanismos de comunicação ainda estão por serem descobertos. Gagliano *et al.* (2012a,b) sugere que plantas podem se comunicar por diferentes formas ainda desconhecidas, tais como os já referidos sons e até mesmo campos eletromagnéticos.

O estudo da comunicação em plantas é algo muito novo, mas que tem crescido exponencialmente nas últimas duas décadas (GAGLIANO, 2012b). Além da imensa quantidade de novos conhecimentos que esses estudos podem proporcionar, as aplicações disso para a agricultura e até mesmo a tecnologia são bastante promissoras.

1.4.2 Aprendizagem em plantas

Assim como no caso da inteligência, aprendizado é um termo bastante nebuloso e com múltiplas definições. Não existe um consenso geral sobre o que seja aprendizado sequer para animais com sistema nervoso central (KARBAN, 2015).

Porém, de um modo geral, as definições convergem para uma melhora no desempenho de uma dada função baseado em experiências passadas similares (KARBAN, 2015; SOUZA *et al.*, 2017). O conceito de aprendizado está intimamente relacionado à definição de inteligência de Stenhouse (1974 *apud* TREWAVAS, 2003), a qual representa um comportamento variável adaptativo ao longo da vida do indivíduo. Assim, o indivíduo, ao acumular experiências ao longo de sua vida, é capaz de acessar essas experiências que ficaram registradas na forma de memórias para, então, modular o seu comportamento quando enfrentar uma situação parecida com algo vivenciado no passado (TREWAVAS, 2016b).

Segundo Trewavas (2003), para que ocorra um aprendizado são necessárias duas coisas: um objetivo, geralmente predeterminado, e um mecanismo de avaliação dos erros e acertos para que o organismo possa saber o quão próximo chegou de seu objetivo. O objetivo pode ser, também, um *set point* fisiológico, por exemplo, ou a manutenção da homeostase. A título de ilustração, Trewavas (2003) cita o exemplo de alguém que deseja aprender a andar de bicicleta. Há um objetivo e vários mecanismos para inferir se os comportamentos adquiridos (pedalar mais rápido ou devagar, correção da postura e do equilíbrio, etc.) estão sendo efetivos para atingir a esse objetivo. Por meio de tentativas e erros, o indivíduo acabará aprendendo a andar de bicicleta (TREWAVAS, 2003). Como se verá adiante, plantas realizam esses comportamentos rotineiramente.

Se o aprendizado é a melhora no desempenho de uma função baseado em experiências anteriores, é preciso se fazer uma ressalva. Um aprendizado só pode ser considerado como tal se o estímulo que o causou tiver cessado e houver um espaço de tempo entre aquela

experiência passada e a nova experiência vivida pelo organismo, de modo que o aprendizado só pode ser inferido *a posteriori*. Para Souza *et al.* (2017):

Learning occurs in a manner that, for the observer, the learned behaviour of the organism appears justified from the past, through the incorporation of a representation of the environment (memory) that acts, modifying its present behaviour by recall. (SOUZA *et al.*, 2017)

As representações que o organismo faz de uma dada situação dependem de situações passadas. A experiência vivida causa modificações na estrutura do organismo, permanentes ou não, mas que podem ser consideradas memórias. Caso o organismo as utilize para enfrentar uma situação, o processo de aprendizado estará em curso.

Contudo, se não houve um intervalo de tempo entre as mesmas experiências (ou experiências parecidas), então a mesma situação está forçando a fisiologia da planta a adaptar-se àquela situação. A planta poderá ter modificado o seu comportamento, mas dir-se-á que não foi por aprendizado, e sim por aclimação. Afinal, a melhora no desempenho não será distinguível em dois momentos, pois não há um tempo antes e outro depois do estímulo que causou a mudança de comportamento, e sim um contínuo de adaptações (SOUZA *et al.*, 2017).

Mecanismos têm sido propostos para explicar como as memórias ficam gravadas em plantas. As modificações estruturais envolveriam processos sub e supracelulares nos quais os estímulos percebidos pelas plantas são transduzidos através de vias dependentes de cálcio e outras vias de transdução por proteínas cinases (TREWAVAS, 2016a).

Essas modificações geram conexões entre diferentes partes da planta na forma da construção de redes de fluxo de informação através de conexões de plasmodesmos entre as células (que permite fluxo de metabólitos e impulsos elétricos), formação de novos tecidos e estruturas, fluxo de proteínas, etc. (SOUZA *et al.*, 2017). De fato, a inteligência, em plantas, geralmente não se manifesta através de movimento, mas sim por plasticidade fenotípica (TREWAVAS, 2005).

Assim sendo, as experiências vividas pela planta são armazenadas na forma de modificações estruturais que representam uma

condição do ambiente por elas experimentada. Nas palavras de Souza *et al.* (2017):

Such metabolic organization, coupled to environmental cues is, indeed, a ‘molecular representation’ of a corresponding environmental condition. Those ‘representations’ are, indeed, changes in metabolic network topologies (different arrangements among cellular components) that engender metabolic schemes corresponding to the current status of the cells under certain local conditions. Such schemes can be stored and recalled later in certain circumstances (storage/recall type of memory), eventually changing future behaviour (SOUZA *et al.*, 2017).

Essas representações do ambiente formam vias de comunicação que são as memórias. Se a situação se repete, a planta tenta ajustar sua fisiologia e morfologia àquela situação para manter a homeostase, e todos os sinais percebidos e essas vias podem ser reforçadas, estabelecendo cada vez mais fortemente o aprendizado (TREWAVAS, 2003, 2005; ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

Para Trewavas, ainda, o aprendizado é, então, o “reforço de uma via de fluxo de informações em particular”, enquanto que a memória é uma “modificação semipermanente na velocidade e direção de fluxo de informação induzida pelo aprendizado” (TREWAVAS, 2005, tradução nossa).

Existem dois tipos de aprendizado: o não associativo e o associativo. O aprendizado não associativo é quando não ocorre uma associação causal entre dois fenômenos, e pode ser dividido em duas categorias: habituação e sensibilização (ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

A habituação é uma forma primária de aprendizado na qual o organismo aprende a não responder a um estímulo inócuo que é apresentado repetidamente. Estudos com habituação já foram feitos em diversos grupos de animais, dos mais simples aos mais complexos. A habituação já foi demonstrada, também, para a *Mimosa pudica* em diversas ocasiões ao longo da história, como será melhor descrito adiante (GAGLIANO *et al.*, 2014; ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

A sensibilização é, praticamente, o oposto da habituação, sendo então um aumento na intensidade da resposta, ou na probabilidade da resposta ocorrer. Em geral, quanto mais forte o estímulo, maior a probabilidade de a sensibilização acontecer (ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

Quanto ao aprendizado associativo, este foi descrito pelo médico russo Ivan Pavlov (1849-1936) ao estudar a associação que cães faziam a um som neutro (o badalar de uma sineta) a um estímulo não neutro, que no caso era a apresentação de comida. Este estímulo não é neutro porque causa uma resposta fisiológica que não foi aprendida, é inata.

Para ocorrer o aprendizado associativo descrito por Pavlov, chamado de condicionamento clássico, um estímulo neutro ao organismo, chamado “estímulo condicionante” deve ser apresentado junto de um estímulo não neutro, chamado “estímulo não condicionante”. Com o tempo, o organismo aprende a associar um estímulo a outro e, ao fim, o estímulo neutro acaba causando a mesma reação que o estímulo não neutro. Diz-se que o organismo foi condicionado (ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

Abramson & Chicas-Mosier em 2016 acreditavam que provavelmente apenas o aprendizado não associativo poderia ocorrer em plantas. Contudo, sete meses após publicarem seu artigo sobre aprendizado em plantas, Gagliano e colaboradores publicaram a primeira “evidência inequívoca” de aprendizado por associação nesses organismos (ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016; GAGLIANO *et al.*, 2016).

Nesse artigo, Gagliano *et al.* (2016) demonstraram que plântulas de ervilha (*Pisum sativum* L.) em um labirinto escuro eram capazes de associar o estímulo neutro (condicionante) da brisa produzida por um pequeno ventilador ao estímulo não neutro (não condicionante) de uma luz sendo acesa pouco depois de o ventilador ser ligado e usar, então, a brisa como uma pista para prever a direção em que a luz viria e crescer para aquele lado do labirinto, mesmo que estivessem no escuro ainda.

Quanto a evidências empíricas para o aprendizado em plantas, os exemplos mais citados são os de situações conhecidas como *priming*. No caso, a planta vivencia um estresse abiótico ou biótico. Esse estresse cessa e, quando acontece de novo, a planta o reconhece e consegue defender-se com mais competência. Ela aprende a lidar com essa situação, e quanto mais vezes isso acontecer, melhor ela se sairá em lidar com esse estresse, de modo que a memória assim estabelecida pode

durar anos, pela vida inteira da planta e até mesmo ser epigeneticamente transmitida às gerações futuras (KARBAN, 2015; TREWAVAS, 2016b; SOUZA *et al.*, 2017).

Ao serem expostas à herbivoria, muitas plantas adquirem maior resistência e respondem mais rápido a um posterior ataque, especialmente através do reconhecimento de compostos químicos específicos associados aos herbívoros. Mesmo a oviposição por parte de algum herbívoro sobre as folhas de uma planta pode ser o bastante para causar uma resposta mais intensa à herbivoria vindoura (KARBAN, 2015).

A exposição prévia ao frio, ou a um estresse osmótico tal como excesso de salinidade podem fazer com que plantas lidem melhor com uma situação de frio ou estresse osmótico caso ocorram novamente. Experimentalmente, centeios que nunca foram expostos a situações de frio intenso morreram a -5°C , enquanto que sementes pré-tratadas com temperaturas frias, mas não congelantes, conseguiram sobreviver a até -30°C . Do mesmo modo, sementes de trigo e tomate tratadas com soluções salinas deram origem a plantas mais resistentes a esse tipo de estresse quando adultas (KARBAN, 2015; SOUZA *et al.*, 2017).

Ramos e raízes buscam a luz e o solo crescendo contra ou a favor do vetor da gravidade, respectivamente. Assim, asseguram o crescimento em direção às fontes de alimentação e água nas quais evoluíram. Contudo, muitas vezes eles podem se encontrar em ângulos diferentes do ideal à sua função, e através de erros e acertos vão aprendendo a encontrar a melhor posição possível para buscar água e nutrientes ou captar a luz (TREWAVAS, 2003).

A planta dormideira, *Mimosa pudica*, aprende a ignorar estímulos inofensivos e não responde mais a eles (aprendizado por habituação), bem como é capaz de distinguir entre diferentes estímulos e responder somente àqueles que não se parecem com os estímulos que ela aprendeu a ignorar (ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016; GAGLIANO *et al.*, 2014).

Outros exemplos sobre o aprendizado podem ser encontrados em Trewavas (2003, 2005; 2016a,b), Karban (2015) e Souza *et al.* (2017).

É preciso dizer, ainda, que Souza *et al.* (2017) descrevem que o aprendizado em plantas pode ocorrer em quatro níveis diferentes. O primeiro ocorre no nível celular ou dos módulos da planta, sendo regulado pelas atividades da planta inteira. O segundo é no nível do organismo, quando toda a planta aprende algo. O terceiro é o nível da população ou comunidade, no qual através do processo de comunicação

entre as plantas toda a população de uma área aprende a lidar com uma situação. Um exemplo seria a emissão de VOCs por uma planta predada que prepara todas as outras a lidarem com a herbivoria que possivelmente enfrentarão. Por fim, há o quarto nível, que se dá no nível de espécie, em que, através da seleção natural, a espécie “aprende” alguns comportamentos adaptativos (SOUZA *et al.*, 2017).

Em todos os níveis as experiências passadas influenciarão e modificarão o comportamento das plantas ao experimentar uma situação igual ou semelhante em algum momento no futuro de modo que ela seja cada vez mais hábil em resolver esse “problema”.

1.5 A *Mimosa pudica* como modelo de estudo

Os estudos em comportamento e aprendizado em plantas são muito antigos e remontam ao século XIX e aos pioneiros da fisiologia vegetal (BRENNER *et al.* 2006). Dentre as plantas que começaram a ser utilizadas para esse fim, destacam-se a *Mimosa pudica* e a carnívora *Dionaea muscipula*.

Ambas apresentam sensibilidade e comportamentos de fechamento rápido das folhas, que foram muito úteis para se fazer uma série de importantes descobertas, tais como os potenciais de ação das células (BRENNER, 2006).

A *Mimosa pudica* L. é uma espécie subarborescente, ou até arbustiva, nativa da América neotropical, conhecida no Brasil como dormideira, dorme-dorme ou sensitiva. Pertence à família Fabaceae, subfamília Caesalpinioideae (a mesma do pau-brasil, *Paubrasilia echinata* (Lam.) E. Gagnon, H.C. Lima & G.P. Lewis), e está dentro de um clado junto das caliandras (*Calliandra* spp.) e ingás (*Inga* spp.) (LPWG, 2017). Daqui em diante a *Mimosa pudica* será referida como dormideira.

Desde que foi descoberta chamou a atenção pela sua habilidade em mover rapidamente as folhas ao ser tocada, fechando os folíolos e baixando a folha. Por essa razão, foi nomeada por Linné com o epíteto específico de *pudica*, que quer dizer, mesmo em português, “tímida”, “envergonhada”.

Acredita-se que o comportamento de fechar as folhas na dormideira tenha evoluído como uma estratégia de defesa da planta (GAGLIANO *et al.*, 2014). Ao receber um estímulo mecânico ou térmico em suas folhas, ocorre uma sinalização elétrica que se propaga ao longo dos foliólulos, folíolos e folhas, podendo descer pelo pecíolo

até o caule da planta para atingir outras folhas (VOLKOV & MARKIN, 2015).

Na base de cada uma das estruturas citadas há um espessamento chamado de pulvino, que pode ser primário (na base da folha), secundário (na base de cada folíolo), ou terciário (na base de cada foliólulo). Todos esses pulvinos são capazes de continuar a propagação do sinal elétrico ou não, dependendo da intensidade do sinal que passa por eles. Além disso, os sinais elétricos recebidos pela planta, se forem fortes o bastante para tal, causam uma série de modificações bioquímicas nas células do pulvino, como modificações no citoesqueleto das mesmas, e variações osmóticas que levam à queda na pressão de turgor das células e consequente dobramento do pulvino (VOLKOV *et al.*, 2010; VOLKOV & MARKIN, 2015). Contudo, o fechamento das folhas não é uma reação automática, e a planta decide quando fechá-las ou não.

A motilidade das folhas da dormideira mostrou-se muito útil para o estudo do comportamento e aprendizado das plantas. No século XVIII, Jean-Jacques d'Ortous de Mairan (1678-1771) observou que, além de sua sensibilidade, a dormideira fechava as folhas ao anoitecer, num ciclo que se repetia mesmo se a planta fosse mantida no escuro (DE MAIRAN, 1729).

Anos mais tarde, o naturalista Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) observou que a dormideira aprendia a ignorar estímulos repetitivos. Ele instruiu um jovem colaborador seu, Augustin Pyrame de Candolle (1778-1841), a encher uma carroça com vários vasos contendo dormideiras e circular com elas por Paris. Ao serem chacoalhadas devido à pavimentação com pedras das ruas da cidade, as plantas fecharam as folhas, mas, pouco depois, ao acostumarem-se com o movimento voltaram a abri-las (MANCUSO & VIOLA, 2015).

Na segunda metade do século XIX, Pfeffer conduziu experimentos com dormideiras e observou, também, que elas deixavam de responder a estímulos mecânicos repetitivos. No início do século XX, o polímata indiano Jagadish Chandra Bose (1858-1937) replicou, ampliou e confirmou esses experimentos, mostrando ainda que as plantas necessitavam de um período de repouso para recuperar a sensibilidade (ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

Essas descobertas serviram de base para que se começasse a estudar o fenômeno da habituação em dormideiras. Estudos com esse tema começaram a ter mais impulso na década de 1960. Em 1965, Holmes & Gruenberg conduziram um importante experimento em que demonstraram que a dormideira não deixava de fechar as folhas por

fadiga de qualquer mecanismo, mas optava por não responder a determinados estímulos. O experimento deles também demonstrou que as dormideiras eram capazes de distinguir entre dois estímulos diferentes, e respondiam apenas àqueles aos quais elas não estavam acostumadas (ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

No estudo de Holmes & Gruenberg, as plantas eram estimuladas com gotas d'água até pararem de responder ao estímulo, e em seguida eram tocadas com o dedo, ao que fechavam as folhas (ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

Isso levou a estudar-se mais esse tipo de comportamento, mas tais estudos nunca tiveram muita repercussão. Como citado na seção 1.2, a partir de 1973, com a publicação de *The Secret Life of Plants*, o tema caiu na obscuridade. Contudo, em 2014, Gagliano *et al.* realizaram um experimento que demonstrou de forma contundente o aprendizado em dormideiras (ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

Nesse experimento, os vasos contendo as dormideiras sofriam uma sequência de pequenas quedas de uma altura de 15 centímetros seguindo um cronograma de treinamento preciso. Após as primeiras quedas, as plantas pararam de responder ao estímulo, embora respondessem a outros, como ficou demonstrado após os testes de desabituação, em que as plantas eram chacoalhadas num *shaker* a 250 r.p.m. durante 5 segundos (GAGLIANO *et al.*, 2014).

Esse aprendizado permaneceu nas plantas durante 28 dias após o treinamento, o que demonstrou, também, memória. Além disso, ficou demonstrado que em ambientes estressantes a dormideira aprende mais rápido e demora mais tempo a esquecer o aprendizado do que em ambientes mais favoráveis. O experimento foi conduzido com plantas cultivadas a baixa e alta luminosidade, sendo esta última o ambiente favorável (GAGLIANO *et al.*, 2014).

Graças a esse histórico, o estudo do comportamento da dormideira fez com que ela se tornasse um organismo modelo para compreender o aprendizado e memória em plantas, embora as bases moleculares desse aprendizado ainda não estejam bem conhecidas. Além disso, é uma planta rústica e fácil de cultivar, tem uma história natural bastante conhecida e apresenta uma resposta a estímulos externos facilmente observável (ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

1.6 Aprendizado compartilhado?

Tendo em vista tudo o que foi percorrido até este ponto, torna-se claro que as plantas são seres infinitamente mais complexos e ativos do que historicamente se supôs. Assim, é evidente que as relações entre as diferentes partes de seus módulos e entre diferentes plantas podem se apresentar de maneiras muito variadas, complexas e inteligentes, de modo a maximizar suas chances de sobrevivência e *fitness* (TREWAVAS, 2003).

Assim, uma vez que plantas são seres inteligentes e capazes de aprenderem (TREWAVAS, 2003, 2005, 2016a,b; GAGLIANO *et al.*, 2014, 2016; ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016; SOUZA *et al.*, 2017); uma vez que plantas constantemente comunicam-se tanto internamente como externamente, com outras plantas, fungos, animais e micro-organismos (KARBAN, 2015) e estão em geral conectadas e trocando água, solutos e informações através das raízes, às vezes com o auxílio de micorrizas, VOCs e outras formas de comunicação (SIMARD *et al.*, 1997a,b, 2012; SIMARD, 2009; BEILER *et al.*, 2010; SONG, G. *et al.*, 2010; FALIK *et al.*, 2011; GAGLIANO, 2012; GAGLIANO *et al.*, 2012a,b; FALIK *et al.*, 2011; FALIK *et al.*, 2012; KARBAN *et al.*, 2013; KARBAN *et al.*, 2014; HEDRICH *et al.*, 2016; SONG, Y. *et al.*, 2016; TREWAVAS, 2016a,b), além de serem capazes de se reconhecer quanto ao grau de parentesco, evitando competição e aumentando a cooperação com indivíduos geneticamente semelhantes (DUDLEY & FILE, 2007; MURPHY & DUDLEY, 2009; BERTOLLI, 2015), perguntou-se se plantas seriam capazes de transmitir um aprendizado a outras plantas.

Em uma população de plantas, as vantagens de trocar informações sobre aprendizados podem ser muito evidentes. Não precisar sofrer com uma experiência negativa e aproveitar-se da experiência de outras plantas faz com que se economize muita energia na manutenção da homeostase. Tal comportamento encaixa-se no terceiro nível de aprendizado que plantas podem apresentar, o aprendizado ao nível de população, de acordo com o que foi proposto por Souza *et al.* (2017).

1.7 Questão central e hipótese de trabalho

A questão central que orienta este estudo é a de que plantas dormideiras que aprendessem por habituação que um determinado estímulo é inócuo — e que não é necessário reagir a ele —

compartilhariam esse aprendizado com outras plantas. Isso seria vantajoso para a população como um todo, pois fechar as folhas é energeticamente custoso, além de diminuir em até 40% a taxa de fotossíntese (GAGLIANO *et al.*, 2014). Compartilhar um aprendizado desses pode ser interessante para todo o grupo.

Assim, a hipótese assumida neste trabalho é de que as dormideiras que aprendessem a ignorar um estímulo comunicariam a outras da mesma população que não é necessário responder a esse estímulo.

Para testar essa hipótese, foram conjugados os experimentos propostos por Falik *et al.* (2011) e Gagliano *et al.* (2014). Então, plantas dormideiras jovens foram colocadas de modo que suas raízes compartilhassem seus vasos umas com as outras. Aplicou-se séries de estímulos inócuos a um grupo de plantas até que elas aprendessem a ignorá-los e, em seguida, aplicou-se o mesmo estímulo às plantas contíguas, a fim de verificar se o aprendizado de ignorar o estímulo teria sido transmitido às outras plantas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar se há transmissão de aprendizado não associativo por habituação entre plantas dormideiras oriundas de uma mesma população, através de raízes ou compostos orgânicos voláteis (VOCs).

2.2 Objetivos específicos

- Estudar a comunicação de dormideiras, tanto aérea como subterrânea, e verificar se isso afeta o comportamento de plantas que não sofrem o mesmo estímulo que as que enviam os sinais.
- Realizar um estudo em aprendizado não associativo em dormideiras e contribuir para o ainda pouco estudado campo de pesquisa em aprendizagem em plantas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material vegetal e condições de cultivo

Ao longo da primavera e início do verão de 2016 foram coletadas sementes de dormideiras em dois pontos do campus principal da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), um próximo ao Hospital Universitário (HU) e o outro próximo ao edifício Espaço Físico Integrado (EFI), conforme mostrado na Figura 2, onde foram encontrados grupos abundantes dessas plantas.

Considerou-se essas sementes como provenientes de uma mesma população uma vez que ambos estão localizados suficientemente próximos para que polinizadores como abelhas nativas e *Apis mellifera* L. possam levar pólen das flores de um grupo a outro (NOGUEIRA-NETO, 1997, p. 86; BEEKMAN & RATNIEKS, 2000).

Figura 2: Locais do campus da UFSC onde foram coletadas as sementes de dormideiras (*Mimosa pudica*) usadas neste experimento. **A:** Localização da UFSC na Ilha de Santa Catarina, **B:** ponto de coleta do EFI, **C:** ponto de coleta do HU, **D:** edifício da reitoria, para localização.



Fonte: Google Earth, 2017.

As sementes foram levadas ao viveiro do Departamento de Botânica do Centro de Ciências Biológicas (CCB) da UFSC e, nos meses de dezembro e janeiro, plantadas em sementeiras plásticas ou de

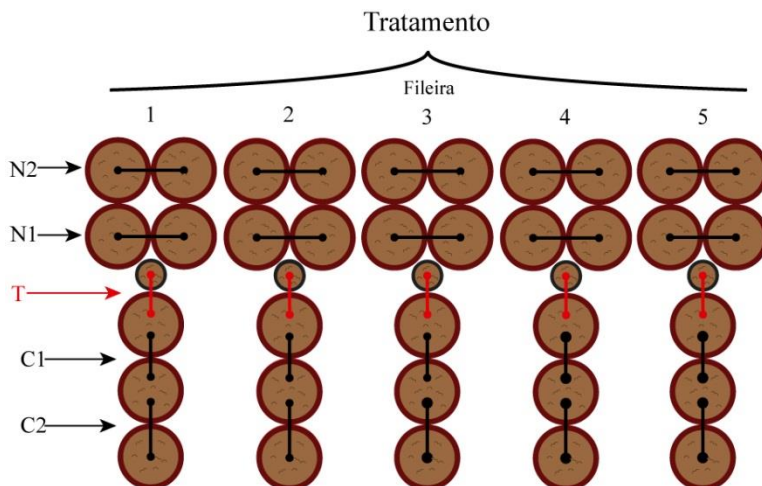
isopor, em terra comum de jardinagem e regadas pelo menos uma vez ao dia.

A montagem do experimento foi realizada quando as plantas atingiram uma altura variando entre 4,5 e 6,0 cm, medidas da base da planta ao meristema apical. Foram selecionadas 80 mudas (75 para serem utilizadas no experimento, mais 5 adicionais, de reserva). Em seguida, essas plantas tiveram sua raiz principal cortada a aproximadamente 0,5 cm abaixo da base. Todas as podas foram realizadas com as raízes debaixo d'água, para evitar danos aos tecidos vasculares por cavitação.

Depois, as mudas foram replantadas em sementeiras de volume maior, com 107 cm³, em terra comum de jardinagem, e realocadas no viveiro do Departamento, onde permaneceram sem perturbações por duas semanas.

Passado esse tempo, as plantas tiveram todas as raízes podadas novamente, desta vez deixando apenas duas raízes laterais, em direções opostas (técnica *split-root*, ver FALIK et al., 2011, 2012; BERTOLLI, 2015), cada uma com entre 4 e 5,5 cm de comprimento. As dormideiras foram, então, plantadas “a cavalo” entre dois vasos de 70 ml de volume e organizadas em fileiras de cinco plantas, na qual todas eram plantadas em dois vasos, mas três dormideiras dividiam o vaso com outra dormideira, e duas não, num arranjo inspirado em Falik *et al.* (2011). A Figura 3 ilustra o arranjo de um tratamento, com suas respectivas fileiras de vasos (cinco fileiras correspondendo a cinco repetições). Para ajudar a sustentar as plantas em pé, um pequeno bloco de espuma vinílica acetinada (EVA) foi preso aos caules de cada planta, de modo a estabilizá-las. Além disso, os vasos foram colocados em bandejas mantidas sempre com água dentro para que o substrato permanecesse encharcado.

Figura 3: Esquema do arranjo de um dos tratamentos dados às plantas durante o experimento. Verifica-se um tratamento, com cinco fileiras e cinco grupos de plantas: **T**, as que sofreram treinamento; **C1**, as que compartilharam o vaso com as T; **C2**, as que compartilharam o vaso com as C1; **N1**, as que não compartilharam o vaso e estão mais próximas de T; e **N2**, as que não compartilharam o vaso e estão mais distantes de T.



A ideia desse arranjo é verificar se a comunicação da informação aprendida dá-se através das raízes ou por via aérea, através de VOCs ou outro meio que não envolvesse contato físico. Assim, na bandeja que continha as fileiras de plantas, entre as que compartilhavam os vasos e as que não compartilhavam (entre as plantas T e N1), foi erigida uma pequena barreira com aproximadamente 2 cm de altura de Durepoxi® e tiras de plástico, selada com silicone, para evitar o intercâmbio da água que banhava os vasos, evitando, assim, que compostos químicos secretados pelas raízes das plantas que receberiam o treinamento chegassem àquelas com quem não dividiam o vaso.

Cada vaso possuía 5 cm de diâmetro. Para evitar que as plantas T ficassem mais distantes das plantas N1 que das C1, pois se todos os vasos tivessem o mesmo tamanho elas ficariam a 5 cm de distância destas e a 7,5 cm daquelas, o vaso das plantas T voltado às N possuía

3,0 cm de diâmetro, fazendo com que a distância entre essas plantas fosse de 5,5 cm, de modo a tentar minimizar essa diferença (Figura 3).

Gagliano *et al.* (2014) demonstraram que as dormideiras cultivadas em condições de pouca luz aprendem mais rápido e demoram mais tempo para esquecer o aprendizado. Nesses casos, a necessidade do aprendizado e de acessar a informação aprendida é mais urgente. Supondo que numa situação de estresse a necessidade de comunicação entre as plantas é mais crucial, decidiu-se dar às plantas dois tratamentos: luz e sombra, sendo o primeiro muito mais próximo das condições ideais de cultivo da dormideira do que o segundo. Além desses, foi montado um tratamento controle à luz. Cada um dos tratamentos era formado por cinco fileiras de vasos com cinco plantas cada, totalizando um número de 75 dormideiras para todo o experimento.

Para o tratamento de sombra foi construída uma gaiola de madeira com sombrite capaz de bloquear 70% da luz, que foi colocada sobre um grupo de cinco fileiras, velando-as com bastante sombra.

O experimento foi montado sobre uma bancada do Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Botânica do CCB, junto à janela, recebendo iluminação solar durante toda a manhã e iluminação artificial das luzes do próprio laboratório no período da tarde (Figura 4).

O substrato utilizado para o cultivo das plantas foi vermiculita encharcada com água, e duas vezes por semana cada vaso era regado com 1 ml de solução nutritiva MS (MURASHIGE & SKOOG, 1962).

Figura 4: Experimento montado no Laboratório de Fisiologia Vegetal, Departamento de Botânica da UFSC. **A:** Tratamento Sombra, **B:** tratamento Luz; **C:** tratamento Controle.



Para facilitar as análises, cada planta recebeu uma sigla que a identifica. Dependendo do tratamento, a sigla pode começar com S (sombra), L (luz) ou C (controle). Em seguida vem o número da fileira (1-5), uma letra que identifica se a planta compartilha (C) ou não (N) o vaso, ou se é a planta que receberá o treinamento (T) e, por fim, o número da planta em si, baseando-se na distância em que ela se encontra da planta T, que está no meio da fileira.

Por exemplo, a planta L2C1 seria a planta do tratamento luz (L), da fileira 2, que compartilha o vaso (C) e é a que está mais próxima da planta T (1). Do mesmo modo, a planta S3T seria a planta do tratamento sombra (S), da fileira 3 e que recebeu o treinamento (T) (Figura 3).

Uma vez montado o experimento, todas as plantas foram deixadas sem perturbações por mais duas semanas, até que os ensaios tivessem início.

3.2 Ensaio sobre treinamento

Para preparar as plantas ao ensaio sobre transmissão de aprendizado, foi primeiro realizado um treinamento às plantas T no qual aplicou-se uma série de estímulos inócuos durante um dia inteiro para que as plantas aprendessem a ignorá-lo e, em seguida, no mesmo dia foi feito o teste de desabituação, depois do qual foi feita mais uma série de estímulos de treinamento.

Foi seguido o cronograma de treinamento de Gagliano *et al.* (2014). Todas as dormideiras utilizadas eram plantas “inexperientes” (*naïve plants*, ver GAGLIANO *et al.*, 2014), ou seja, plantas que jamais haviam recebido aquele estímulo anteriormente.

A série de estímulos aplicados consistiu em deslizar suavemente a ponta de um bastão de vidro pela ráquila de dois folíolos aleatoriamente selecionados, em sentido basal-apical, por cinco vezes.

A opção por utilizar esse estímulo deu-se por conta de ser um estímulo fácil de aplicar, ser um estímulo repetitivo, inócuo à planta, ou seja, não a prejudica de nenhum modo, embora haja certo gasto de energia quando as folhas respondem ao estímulo, e ser distinto de qualquer outra coisa que a planta poderia experimentar na natureza.

O treinamento começou às 08h55 e consistiu em aplicar a sequência de estímulos: primeira série de estímulos, dez minutos, uma hora, duas horas, quatro horas, e seis horas depois da primeira série de estímulos. Para verificar se a falta ou diminuição da resposta da planta foi por causa do aprendizado, e não devido a algum tipo de disfunção ou fadiga dos mecanismos que fecham a folha, é necessário aplicar um teste de desabituação (GAGLIANO *et al.*, 2014; ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016). Ou seja, outro estímulo que seja diferente e mais forte do que os que foram previamente aplicados. Após a aplicação desse teste, se o estímulo do treinamento for aplicado novamente espera-se observar a mesma resposta que o organismo dava antes.

Neste caso, o teste de desabituação foi bater suavemente, com o bastão de vidro, cinquenta vezes repetidamente no caule de cada planta T. Esse teste foi aplicado cerca de 20 minutos após o momento T6 h. Após aproximadamente 20 minutos, quando as plantas tiveram tempo de reabrir as folhas, aplicou-se novamente, pela última vez no dia, a série de estímulos de treinamento.

Antes de iniciar a aplicação das séries de estímulos e depois de aplicá-la a abertura largura dos dois folíolos estimulados foi medida com o auxílio de um paquímetro digital, aproximando-o o máximo possível das margens dos folíolos, mas sem, no entanto, tocá-los.

A abertura das folhas foi contabilizada como a média da diferença da largura de todos os folíolos antes e depois da aplicação do estímulo, em que 100% é a folha completamente aberta. As plantas foram contadas coletivamente como Sombra e Luz, e a média de seu fechamento, em porcentagem, para cada etapa do treinamento, está apresentada na Tabela 1 da seção 4.1.1.

O tempo de reação ao estímulo foi medido em segundos com um cronômetro por outra pessoa, sempre a mesma nos dois dias de

experimento. Considerou-se o tempo de reação a partir do momento em que o bastão encostou a folha pela primeira vez até o momento em que a mesma parou de apresentar comportamento visível.

3.3 Ensaio sobre compartilhamento do aprendizado

No dia seguinte à realização dos ensaios de treinamento, às 9h30 deu-se início ao ensaio do compartilhamento do aprendizado. Primeiro, todas as plantas T foram estimuladas do mesmo modo que no treinamento. Aguardou-se aproximadamente 20 minutos e, em seguida, estimulou-se novamente as plantas T. A razão para isso foi verificar como elas reagiriam ao estímulo que haviam recebido no dia anterior e dar-lhes a chance de evocar a memória desse aprendizado, bem como comunicá-lo pela última vez às plantas contíguas.

Depois, aplicou-se o mesmo estímulo em todas as outras plantas do experimento, sempre na mesma sequência: plantas C1, C2, N1 e N2. Todas elas nunca haviam recebido nenhuma série de estímulos. O primeiro grupo testado foi o Sombra, seguido do grupo Luz e, por fim, o Controle, no qual todas as plantas foram estimuladas com o bastão de vidro pela primeira vez, incluindo as plantas T.

A abertura dos folíolos antes e depois dos estímulos, bem como o tempo de reação, foram medidos do mesmo modo que no dia anterior. Para analisar o treinamento e o aprendizado, foi considerada a média da abertura de todos os folíolos das plantas T por tratamento (Luz e Sombra, mas não o Controle). Para a análise do ensaio sobre compartilhamento do aprendizado, foi considerada a média da abertura de cada grupo de plantas (T, C1, C2, N1 e N2) em cada tratamento (Luz, Sombra e Controle).

Todos os resultados foram tabelados no programa Microsoft Excel[®]. Os dados foram representados pela média e gráficos de dispersão. Para comparar as médias da abertura foliar e tempo de reação foi utilizado o software R, no qual foram feitos os gráficos *boxplot*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados do ensaio sobre treinamento

4.1.1 Análise do aprendizado

Com os dados obtidos no ensaio sobre o treinamento, os quais estão representados na Tabela 1, foi possível desenhar um gráfico de dispersão (Figura 5) a fim de observar a curva de aprendizado de ambos os tratamentos.

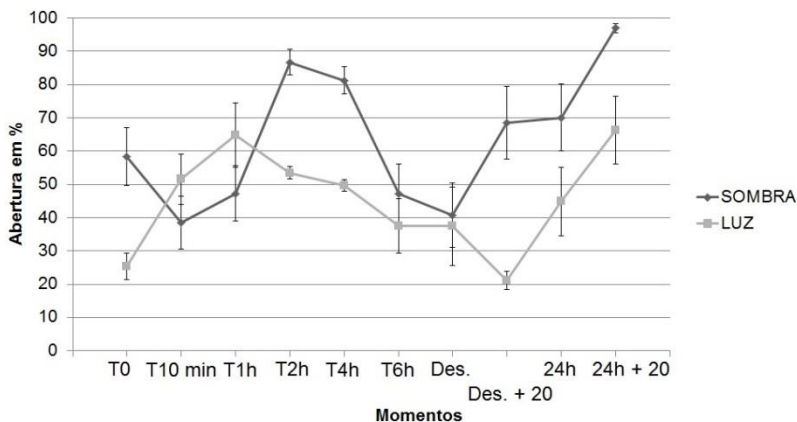
Para melhorar a análise do aprendizado, foram adicionadas à tabela e gráfico as duas séries de estímulos aplicadas no dia seguinte ao treinamento, antes do ensaio sobre o aprendizado, que estão nomeadas como *24h* e *24h + ~20*, ou seja, mais aproximadamente 20 minutos após o primeiro estímulo do dia do teste do compartilhamento do aprendizado.

Tabela 1: Média da medida da abertura das folhas de dormideira nos tratamentos Sombra e Luz, em %, durante o ensaio sobre treinamento, no qual se acompanhou o aprendizado por habituação. Cada momento representa uma série de estímulos aplicada.

Momento	SOMBRA	D.P.	LUZ	D.P.
T0	58,33	27,28	25,41	12,59
T10 min	38,46	25,17	51,57	24,07
T1h	47,29	25,99	64,69	30,66
T2h	86,66	12,10	53,49	6,13
T4h	81,29	12,80	49,65	5,24
T6h	47,24	27,88	37,54	25,85
Des.	40,71	30,76	37,42	37,42
Des. + ~20	68,53	34,69	21,17	8,78
24h	70,11	31,53	44,86	32,66
24h + ~20	96,92	4,07	66,30	32,33

Notas: **Des.** = Teste de desabituação, **Des. + ~20** = aproximadamente 20 minutos após o teste de desabituação; **24h** = 24 horas após o início do experimento e **24h + 20** = 24 horas após o início do experimento mais aproximadamente 20 minutos. **D.P.** = Desvio padrão.

Figura 5: Gráfico da curva de aprendizado dos tratamentos Sombra e Luz durante teste de treinamento, no qual se acompanhou o aprendizado por habituação através da abertura das folhas em %, sendo 100% a abertura máxima. Barras verticais representam o erro padrão.



Notas: **Des.:** Teste de desabituação; **Des. + ~20:** aproximadamente 20 minutos após o teste de desabituação; **24h:** 24 horas após o início do experimento e **24h + 20:** 24 horas após o início do experimento mais aproximadamente 20 minutos.

A curva de aprendizado de ambos os tratamentos apresentou comportamento diverso do que foi observado por Gagliano *et al.* (2014). No caso do estudo desses pesquisadores, as plantas de luz fraca e luz forte iniciaram o treinamento com uma abertura de quase 80% e 50%, respectivamente e, no caso das plantas com pouca luz, no momento T10 min a curva de aprendizado já havia se estabilizado entre 80% e 90% de abertura. No caso das plantas de luz forte, a curva atingiu o seu ápice em T2h (GAGLIANO *et al.*, 2014).

No momento T0, quando as inexperientes plantas T dos tratamentos Luz e Sombra receberam pela primeira vez o estímulo do treinamento, as plantas Sombra tiveram uma abertura de 58,33%, em contraste com as que estavam à luz, cuja abertura foi de 25,41%. Embora a curva de aprendizado seja diferente do que Gagliano *et al.* (2014) observaram, interpreta-se o comportamento das plantas deste experimento como uma deliberada demora em responder ao estímulo, pois, uma vez em situação de estresse, se supôs que as plantas Sombra demorem mais a responder ao estímulo. Como não foi um estímulo agressivo, não é urgente fechar as folhas, e elas poderiam aguardar para

verificar se o estímulo passa ou se repete, quando seria necessário tomar uma nova decisão em relação ao que fazer.

Já as plantas Luz, em ambiente mais favorável, responderam mais prontamente ao estímulo. Porém, no momento T10 min, essa tendência foi invertida, e as plantas Sombra tiveram uma abertura menor do que as Luz. Esse comportamento pode ser interpretado como uma ativação maior dos mecanismos de defesa por parte das plantas Sombra. Afinal, se o estímulo continua e é forte o bastante para capturar a atenção da planta (ver MARDER, 2013), é sinal de que alguma atitude, por parte da planta, deve ser tomada, e no caso foi de proteção.

De fato, como observou Karban (2015), “é mais provável que plantas respondam a estímulos ambientais se estes são confiáveis ao indicar as condições que a planta irá experimentar no futuro” (KARBAN, 2015, p. 157, tradução nossa). Uma vez que o estímulo se manteve, é compreensível que as plantas Sombra tenham decidido responder a ele.

A partir de então é possível constatar o início de uma curva de aprendizado, uma vez que, a cada estímulo, as plantas reagem menos. Ou seja, vão percebendo que o estímulo é inócuo e deixando de responder a ele. Além disso, as plantas Sombra apresentam sempre uma resposta mais evidente que as plantas do tratamento Luz.

A partir do momento T1h, contudo, percebe-se uma mudança drástica no comportamento das plantas em ambos os tratamentos. As plantas Luz pareceram começar a esquecer o aprendizado e passaram a responder progressivamente mais aos estímulos, ao contrário do que faziam anteriormente. Já T2h representa a abertura máxima das folhas das plantas Sombra no dia do treinamento, e a partir daí, a cada série de estímulos, elas respondem cada vez mais, fechando mais as suas folhas. Mesmo o teste de desabitação (*Des.*), apesar de ser um estímulo bastante diferente do que tem sido aplicado até o momento, não fez as plantas desviarem a tendência acima descrita. Além disso, o desempenho das plantas Sombra e Luz foi praticamente o mesmo no teste de desabitação.

Contudo, após aproximadamente 20 minutos depois do teste de desabitação, o comportamento das plantas mostrou-se divergente, sendo que as plantas Sombra tiveram uma abertura de 70,11%, enquanto que as plantas Luz mantiveram as folhas a pouco mais de 20%, a menor abertura de todo o processo de treinamento até o momento. Somente no dia seguinte, no momento 24h, é que elas inverteram a tendência de reagir cada vez mais e retiveram suas folhas mais abertas, a 68,89%,

começando a acompanhar as plantas Sombra, que voltaram a ter um desempenho cada vez melhor no aprendizado.

20 minutos depois, as plantas Luz alcançaram a sua maior abertura, de 66,30%. As plantas Sombra, ao fim do treinamento, atingiram também sua maior abertura foliar na curva de aprendizagem, mantendo uma abertura de 96,92%. Ou seja, apesar da curva de aprendizagem ser muito diferente da observada por Gagliano *et al.* (2014), ao fim do treinamento as plantas comportaram-se consoantes com os dados obtidos por eles.

Em virtude do planejamento adotado inicialmente, o treinamento foi interrompido nesse momento e não é possível saber o desempenho posterior das plantas, caso os estímulos se repetissem. Contudo, os dados obtidos com esse treinamento, apesar de diferentes do que Gagliano *et al.* (2014) observaram, corroboram com a sua hipótese de que a dormideira “aprende mais rápido e demora mais tempo a esquecer em ambientes onde isso importa” (GAGLIANO *et al.*, 2014, tradução nossa).

De fato, as plantas Sombra demonstraram terem retido mais fortemente a memória do treinamento e rapidamente responderam de acordo, tendo uma variação do comportamento muito menor (o desvio padrão e o erro padrão foram muito menores do que no resto do treinamento) no momento $24h + \sim 20$. O seu comportamento foi muito mais marcante do que o das plantas Luz no mesmo momento.

4.1.2 Tempo de reação do teste do treinamento

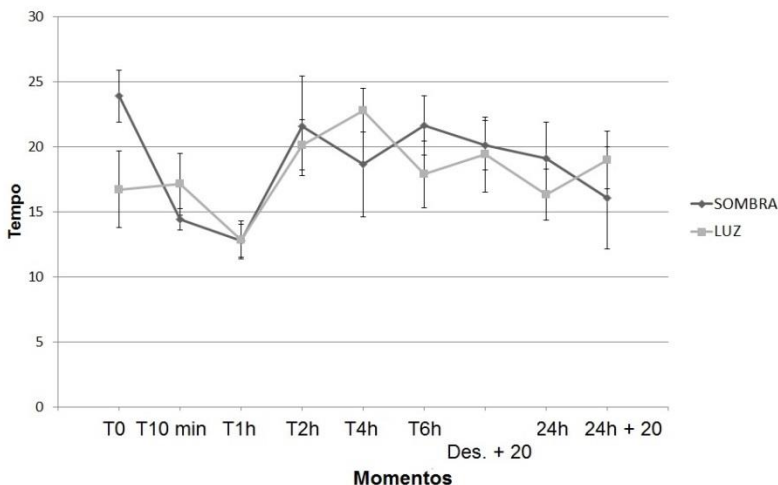
Em relação ao tempo que as plantas levaram para responder, a média dos dados obtidos para cada tratamento pode ser observada na Tabela 2, e seus valores foram plotados no gráfico da Figura 6.

Tabela 2: Médias do tempo de reação, em segundos, das plantas dormideiras às diferentes séries de estímulos (momentos) do ensaio sobre treinamento. Não foi medido o tempo de reação do momento Desabituação (Des.).

Momento	SOMBRA	D.P.	LUZ	D.P.
T0	23,87	6,37	16,70	9,33
T10 min	14,39	2,58	17,12	7,52
T1h	12,78	3,97	12,84	4,64
T2h	21,57	12,10	20,11	6,13
T4h	18,63	12,80	22,78	5,24
T6h	21,62	7,29	17,87	8,08
Des.	x	x	x	x
Des. + ~20	20,11	6,04	19,38	9,11
24h	19,11	8,78	16,32	6,20
24h + ~20	16,05	12,46	18,96	6,96

Notas: **Des.**: Teste de desabituação; **Des. + ~20**: aproximadamente 20 minutos após o teste de desabituação; **24h**: 24 horas após o início do experimento e **24h + 20**: 24 horas após o início do experimento mais aproximadamente 20 minutos. **D.P.** = Desvio padrão.

Figura 6: Gráfico da do tempo que as plantas levaram para fechar as folhas (tempo de reação), em segundos, dos tratamentos Sombra e Luz durante o teste de treinamento, no qual se acompanhou o aprendizado por habituação. Barras verticais representam o erro padrão.



Notas: **Des.:** Teste de desabituação; **Des. + ~20:** aproximadamente 20 minutos após o teste de desabituação; **24h:** 24 horas após o início do experimento e **24h + 20:** 24 horas após o início do experimento mais aproximadamente 20 minutos.

Apesar das diferenças nas aberturas das folhas entre os tratamentos, não houve diferença marcante no tempo que as plantas levaram para responder aos estímulos. Esperava-se que as plantas Sombra tivessem um tempo de reação diferente das plantas Luz, uma vez que as condições em que ambas se encontram são bastante distintas.

4.2 Resultados do ensaio sobre compartilhamento do aprendizado

4.2.1 Abertura das folhas no teste de compartilhamento do aprendizado

O teste foi aplicado aproximadamente 20 minutos após a última série de estímulos de treinamento. Comparou-se a abertura das folhas das plantas C e N, bem como todo o tratamento controle, com o

momento $24h$, e não com o $24h + 20$, pois, naturalmente, não se poderia aplicar novamente os estímulos 20 minutos depois às plantas T controle, já que perderiam sua função como tal, uma vez que o que se deseja é saber como as plantas inexperientes reagem pela primeira vez ao estímulo.

Então, para gerar os gráficos *boxplot*, os valores obtidos para todas as plantas testadas foram comparados com o obtido com as plantas T no momento $24h$. As tabelas 3, 4 e 5 mostram a abertura obtida, em porcentagem, para cada folíolo (F1 ou F2, precedido do número da planta: 1-5).

Tabela 3: Abertura dos folíolos de cada planta dormideira do grupo **Sombra**, em %, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa a fileira onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D. P. significa desvio padrão.

Folíolo	N1	N2	T	C1	C2
1F1	92,86	74,36	91,80	93,75	100,00
1F2	97,37	100,00	87,50	100,00	98,48
2F1	75,96	40,87	42,31	92,00	22,76
2F2	92,86	83,45	36,05	96,80	100,00
3F1	100,00	70,06	100,00	13,41	64,66
3F2	100,00	99,33	100,00	22,07	100,00
4F1	100,00	76,15	93,69	92,91	60,69
4F2	25,56	80,41	90,68	91,72	61,90
5F1	77,78	79,41	20,00	13,18	22,66
5F2	99,23	48,20	39,05	18,05	89,66
Média	86,16	75,22	70,11	63,39	72,08
D.P.	23,11	18,99	31,53	40,35	30,75

Tabela 4: Abertura dos folíolos de cada planta dormideira do grupo **Luz**, em %, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa a fileira onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D.P. significa desvio padrão.

Folíolo	N1	N2	T	C1	C2
1F1	32,39	25,14	55,26	100,00	36,51
1F2	94,84	18,54	84,55	100,00	93,01
2F1	20,12	12,73	24,71	13,38	20,79
2F2	33,10	21,65	52,11	100,00	23,66
3F1	19,67	31,52	100,00	27,66	19,01
3F2	13,95	32,38	71,53	28,97	34,53
4F1	80,00	12,88	13,38	27,78	17,69
4F2	35,85	37,65	8,42	43,28	27,50
5F1	13,89	30,77	13,07	47,33	90,77
5F2	19,49	96,92	25,54	79,13	87,10
Média	36,33	32,02	44,86	56,75	45,06
D.P.	28,25	24,31	32,66	34,51	31,84

Tabela 5: Abertura dos folíolos de cada planta dormideira do grupo **Controle**, em %, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa a fileira onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D.P. significa desvio padrão.

Folíolo	N1	N2	T	C1	C2
1F1	30,43	14,78	23,85	100,00	29,71
1F2	16,20	24,39	9,94	83,56	16,45
2F1	21,11	59,52	27,84	29,30	22,48
2F2	38,21	34,67	23,90	57,97	35,83
3F1	41,18	12,20	13,83	26,92	35,00
3F2	25,81	42,86	19,47	24,84	27,00
4F1	10,87	32,64	19,61	33,33	27,03
4F2	62,62	47,11	23,31	47,06	30,53
5F1	12,86	28,57	10,61	60,32	53,77
5F2	17,36	51,35	13,46	91,67	65,87
Média	27,66	34,81	18,58	55,50	34,37
D.P.	16,02	15,51	6,26	28,11	14,83

Com esses dados elaborou-se um gráfico *boxplot* para cada grupo, para fins de melhor comparação.

Figura 7: Tratamento **Sombra**, gráfico *boxplot* comparando as aberturas das folhas de cada grupo de dormideiras representadas em %. **T**: grupo de plantas que recebeu o treinamento, **C1**: plantas que compartilham o vaso com T; **C2**: plantas que compartilham o vaso com C1; **N1**: plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; **N2**: plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.

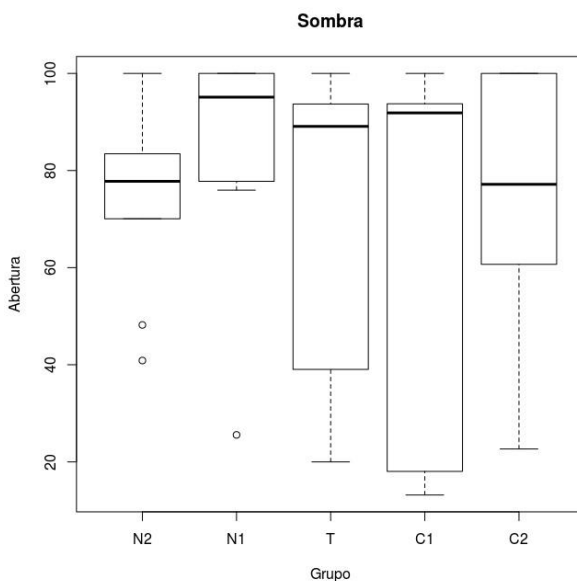


Figura 8: Tratamento **Luz**, gráfico *boxplot* comparando as aberturas das folhas de cada grupo de dormideiras representadas em %. **T**: grupo de plantas que recebeu o treinamento, **C1**: plantas que compartilham o vaso com T; **C2**: plantas que compartilham o vaso com C1; **N1**: plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; **N2**: plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.

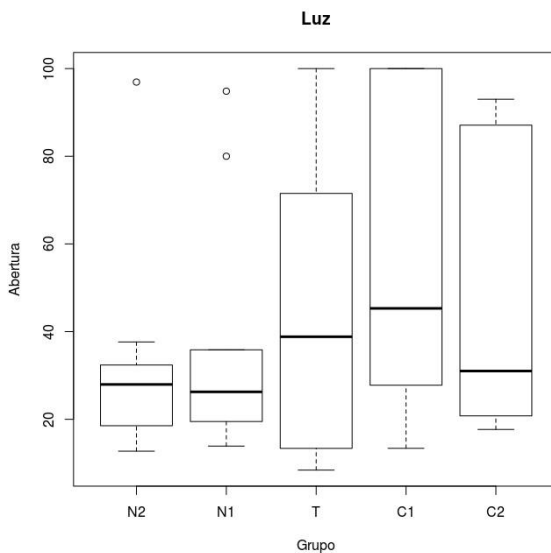
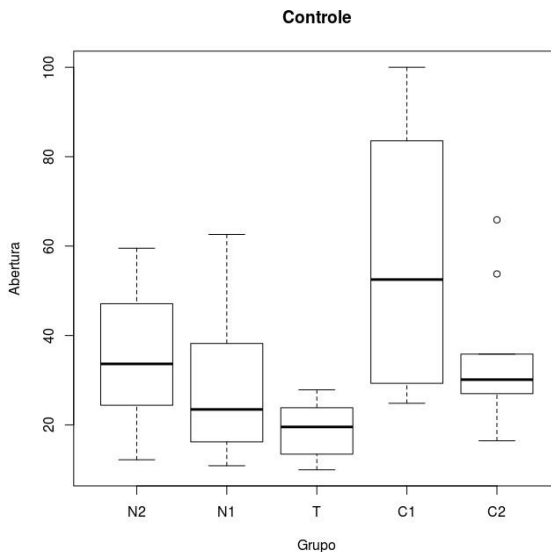


Figura 9: Tratamento **Controle**, gráfico *boxplot* comparando as aberturas das folhas de cada grupo de dormideiras representadas em %. **T:** grupo de plantas que recebeu o treinamento, **C1:** plantas que compartilham o vaso com T; **C2:** plantas que compartilham o vaso com C1; **N1:** plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; **N2:** plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.



A análise desses gráficos permite visualizar que, independentemente de terem recebido ou não um treinamento prévio, as plantas Sombra tendem a manter as folhas mais abertas do que as plantas Luz ao receberem pela primeira vez os estímulos. Isto está consoante com o que foi observado na Figura 5 acima, durante o treinamento e com o experimento de Gagliano *et al.* (2014).

Contudo, à exceção do grupo controle (Figura 9), que apresentou um comportamento um pouco menos variado, os valores obtidos das plantas Luz e Sombra foram extremamente variados, não obstante com um alcance semelhante, indo de próximo de 10% a 100% de abertura em ambos os tratamentos, apesar da média das plantas Luz estar mais próxima da média do grupo Controle do que as plantas do grupo Sombra.

Em relação à hipótese deste trabalho, devido à enorme sobreposição de valores que todos os grupos de plantas apresentaram, é impossível afirmar que houve transmissão do aprendizado das plantas T

às demais plantas. Contudo, é igualmente impossível dizer que não houve também, pois os dados são bastante inconclusivos.

Observou-se, além disso, algo inesperado nos grupos N1 e N2: o seu comportamento foi marcadamente mais uniforme do que o das plantas C1 e C2. Em ambos os tratamentos Luz e Sombra, as plantas que compartilhavam os vasos tiveram uma amplitude de comportamentos muito maior do que as plantas N, que foram bastante uniformes na sua reação. Entretanto, o teste ANOVA realizado não mostrou diferenças significativas ($p > 0,05$). Apesar disso, considerando-se que o n deste trabalho foi muito pequeno, repeti-lo com uma amostragem maior seria positivo para confirmar ou refutar esses dados inconclusivos.

Mas, supondo que o comportamento das plantas dos grupos N se demonstrasse estatisticamente significante, isso contraria o que seria esperado, uma vez que as plantas T e C tinham um contato muito mais estreito entre si, pois além do espaço aéreo compartilhavam os vasos e suas raízes estavam muito próximas dando mais oportunidades de comunicação. Sendo o fluxo de informações mais facilitado entre elas, esperar-se-ia que seus comportamentos fossem mais semelhantes e que, pelo contrário, as plantas mais isoladas apresentassem uma individualidade maior em seu desempenho.

É possível que, pelo fato de estarem compartilhando os vasos, as plantas T e C recebessem informações demais e que isso, ao invés de ajudá-las, as prejudicasse, “confundindo-as”. Quando estivessem sozinhas, poderiam expressar melhor o comportamento, diga-se, adequado àquela situação, sem interferência das demais plantas.

Isso, contudo, parece improvável, pois na literatura a maior parte dos estudos que avaliaram a comunicação das plantas mostra que o fato de estarem próximas umas das outras é benéfico quando são da mesma espécie, pois podem compartilhar (ou bisbilhotar) informações entre si que aumentam a sobrevivência do grupo e até da comunidade (por exemplo MURPHY & DUDLEY, 2009; FALIK, 2011, 2012; KARBAN *et al.*, 2013; KARBAN, 2015).

É interessante notar que este estudo representa o comportamento *médio* das dormideiras, mas sempre que se considera a média, anula-se a individualidade, o que por vezes é prejudicial ao estudo de plantas (TREWAVAS, 2003). Houve plantas em todos os tratamentos que mantiveram suas folhas abertas em quase, ou até mesmo, 100%. Por que isso?

Já foi demonstrado que o reconhecimento de graus de parentesco se dá principalmente pelas raízes (DUDLEY & FILE, 2007; MURPHY & DUDLEY, 2009; BERTOLLI, 2015). As dormideiras

provieram de dois grupos de plantas diferentes e foram misturadas. Apesar de pertencerem à mesma população, algumas eram irmãs, sementes de uma mesma planta mãe, e outras não.

É possível que, já que as plantas estavam com as raízes muito próximas, algumas se reconheciam como parentes e outras não, e isso as fez comportarem-se diferentemente, cooperando com as irmãs e não cooperando com outras plantas geneticamente mais distantes. Isso pode se dar porque (i) as plantas, quando não eram irmãs, “entendiam-se menos” entre si, pois quanto mais diferentes fossem os seus genótipos, maiores são as chances de proteínas de sinalização secretadas pelas raízes, proteínas que participam da síntese de outros metabólitos de sinalização e proteínas receptoras das raízes serem diferentes e, portanto, o reconhecimento das moléculas de sinalização ser prejudicado; ou (ii) as plantas ativamente não compartilham informações com quem não tiver o genótipo parecido com o seu e compartilham informações importantes sobre o ambiente somente com parentes, aumentando a probabilidade de sucesso e *fitness* de seu próprio genótipo.

O comportamento homogêneo das plantas N se justificaria, então, pelo fato de que quando não compartilhavam os vasos, era mais difícil, ou impossível, de se reconhecerem como parentes, não ocorrendo aquele tipo de interação. Essa nos parece a explicação mais provável, mas ela deveria ser testada em um novo experimento para ser confirmada. Essas conjecturas levantam vários questionamentos e novas hipóteses que valem a pena serem testados em momento futuro.

4.2.2 Tempo de reação das plantas no teste de compartilhamento do aprendizado

O tempo de reação de todas as plantas foi medido e seus resultados estão apresentados nas tabelas 6, 7 e 8 a seguir:

Tabela 6: Tempo de reação dos folíolos de cada planta dormideira do grupo **Sombra**, em segundos, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa a fileira de plantas onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D.P. significa desvio padrão.

Folíolo	N1	N2	T	C1	C2
1F1	8,91	11,45	0,00	0,00	23,90
1F2	8,91	18,42	13,39	16,96	24,63
2F1	4,25	15,53	17,01	22,89	23,05
2F2	7,64	18,10	16,65	21,50	15,10
3F1	15,59	7,02	23,05	20,49	14,29
3F2	15,59	8,48	23,05	16,87	16,10
4F1	24,88	25,52	17,11	30,24	19,42
4F2	24,88	25,52	20,29	30,24	20,14
5F1	18,85	16,34	30,27	14,97	15,76
5F2	23,53	21,94	30,27	21,10	22,99
Média	15,30	16,83	19,11	19,53	19,54
D.P.	7,65	6,48	8,78	8,59	3,98

Tabela 7: Tempo de reação dos folíolos de cada planta dormideira do grupo **Luz**, em segundos, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa a fileira de plantas onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D.P. significa desvio padrão.

Folíolo	N1	N2	T	C1	C2
1F1	7,48	21,22	27,09	0,00	23,09
1F2	20,57	20,80	20,03	0,00	28,92
2F1	13,00	16,37	18,73	17,46	20,77
2F2	22,83	10,00	10,86	21,58	15,61
3F1	16,54	13,95	11,97	17,74	16,38
3F2	16,54	13,95	14,77	17,74	16,38
4F1	21,60	15,98	23,10	14,86	19,20
4F2	13,66	18,32	17,72	10,54	12,21
5F1	12,87	11,54	6,57	38,07	0,00
5F2	15,97	9,02	12,32	9,38	0,00
Média	16,11	15,12	16,32	14,74	15,26
D.P.	4,67	4,23	6,20	11,04	9,26

Tabela 8: Tempo de reação dos folíolos de cada planta dormideira do grupo **Controle**, em segundos, durante o teste do compartilhamento do aprendizado. Na coluna “Folíolo”, o número antes da letra F representa a fileira de plantas onde o folíolo se encontrava, e o número após o F representa se foi o primeiro ou o segundo folíolo estimulado. D.P. significa desvio padrão.

Folíolo	N1	N2	T	C1	C2
1F1	10,80	10,15	14,83	11,81	8,34
1F2	11,44	11,82	13,61	16,16	10,65
2F1	7,26	9,14	16,70	14,11	21,75
2F2	8,90	9,14	16,70	7,46	21,75
3F1	11,33	20,01	12,61	10,45	15,05
3F2	18,21	20,01	13,05	14,60	13,88
4F1	25,46	17,53	16,01	26,47	13,80
4F2	25,46	13,20	16,01	26,47	20,83
5F1	8,71	17,80	15,27	18,72	15,47
5F2	8,71	20,97	15,27	18,72	15,47
Média	13,63	14,98	15,01	16,50	15,70
D.P.	6,91	4,78	1,47	6,31	4,55

Com esses dados, elaborou-se gráficos *boxplot* para a comparação dos tempos de abertura de cada grupo de plantas em cada tratamento.

Figura 10: Tratamento **Sombra**, gráfico *boxplot* comparando as médias do tempo de reação das folhas de cada grupo de dormideiras, em segundos. **T**: grupo de plantas que recebeu o treinamento, **C1**: plantas que compartilham o vaso com T; **C2**: plantas que compartilham o vaso com C1; **N1**: plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; **N2**: plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.

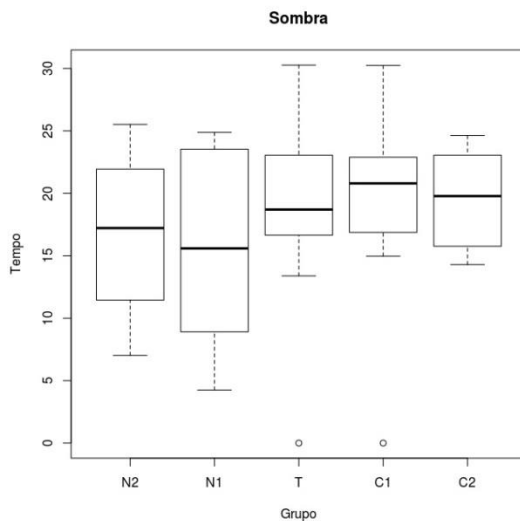


Figura 11: Tratamento **Luz**, gráfico *boxplot* comparando as médias do tempo de reação das folhas de cada grupo de dormideiras, em segundos. **T**: grupo de plantas que recebeu o treinamento, **C1**: plantas que compartilham o vaso com T; **C2**: plantas que compartilham o vaso com C1; **N1**: plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; **N2**: plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.

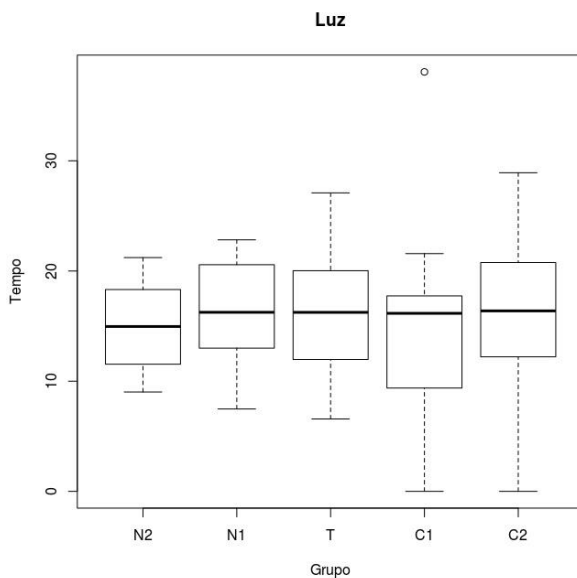
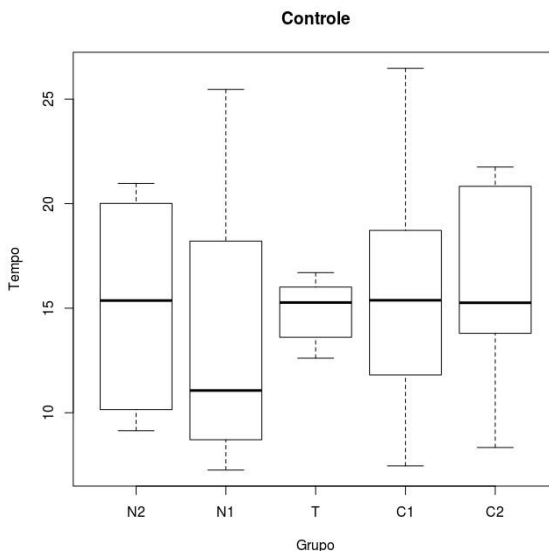


Figura 12: Tratamento **Controle**, gráfico *boxplot* comparando as médias do tempo de reação das folhas de cada grupo de dormideiras, em segundos. **T**: grupo de plantas que recebeu o treinamento, **C1**: plantas que compartilham o vaso com T; **C2**: plantas que compartilham o vaso com C1; **N1**: plantas que não compartilham o vaso e estão próximas às T; **N2**: plantas que não compartilham o vaso e estão mais distantes de T.



Como no caso do teste de treinamento, não houve diferença significativa no tempo de reação das plantas entre os tratamentos. Em cada um, o tempo de reação manteve-se entre 10 e 25 segundos, aproximadamente, independentemente de terem ou não recebido treinamento.

4.3 Últimas observações

Deve-se ter muitas ressalvas e cuidados ao analisar todos os dados obtidos neste trabalho. O experimento apresentou-se frágil, especialmente a metodologia, por conta de uma série de problemas técnicos, meteorológicos e biológicos.

Estimular manualmente as plantas pode causar muita variação na intensidade dos estímulos aplicados, o que pode prejudicar os resultados. Embora não tenha sido possível para este trabalho, o ideal seria fazer de modo mecânico e mais padronizado. Além disso, analisar

a resposta (como o tempo de reação) das plantas a olho nu dá margem a muita subjetividade, que é indesejável a esse tipo de estudo. Contudo, esses problemas não são exclusivos deste trabalho, e já foram reconhecidos por Abramson & Chicas-Mosier (2016). Segundo eles:

Another limitation is the lack of automated conditioning procedures. Researchers must develop techniques for automatic presentation of stimuli and the automated recording of responses if the study of learning in plants is to reach the level of vertebrate, and some invertebrate, studies. (ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

Além disso, a proximidade com o inverno e uma infecção por fungos nas plantas não permitiu que se tivesse um n amostral muito grande. Algumas plantas do experimento desenvolveram uma doença fúngica que recobria levemente as folhas de micélio e prejudicava o movimento das mesmas, como se sabe que acontece no caso de danos mecânicos (CAHILL *et al.*, 2013).

Seria benéfico ter tido um n maior e um maior número de repetições para que os resultados obtidos tivessem mais robustez e as análises fossem mais acuradas. Além disso, como já foi comentado, mecanizar a aplicação das séries de estímulos teria um efeito positivo por ser possível aplicá-los com menos variação.

Contudo, estes resultados servem como incentivo a desenvolver mais pesquisas nesta direção. Apesar de um número crescente de pesquisas estar sendo realizado envolvendo comunicação e aprendizado em plantas, existe muito a se estudar ainda, e o assunto continua sendo, de modo geral, bastante desconhecido (KARBAN, 2015; ABRAMSON & CHICAS-MOSIER, 2016).

5 CONCLUSÕES

- Este trabalho corrobora a hipótese de Gagliano *et al.* (2014) de que as plantas dormideiras, *Mimosa pudica*, aprendem mais rápido e demoram mais a esquecer um aprendizado em ambientes onde a evocação desse aprendizado é mais importante para elas.
- Apesar de não haver diferença estatisticamente relevante, há evidência de que o compartilhar vasos causou uma maior variação no comportamento das plantas, em relação à abertura das folhas, do que o não compartilhar, fazendo com que suas respostas aos estímulos fossem mais variadas do que se não compartilhassem os vasos. Entretanto, os dados apresentaram-se inconclusivos.
- Não foi possível concluir se houve ou não a transmissão de um aprendizado por habituação entre as plantas.

6. REFERÊNCIAS

- ABRAMSON, C.; CHICAS-MOSIER, A. Learning in plants: Lessons from *Mimosa pudica*. **Frontiers in Psychology**, v. 7, n. 417, p. 1-9, 2016.
- ALLEN, W. Plant blindness. **BioScience**, v. 53, n. 10, p. 926, 2003.
- ALPI, A. *et al.* Plant neurobiology: no brain, no gain? **Trends in Plant Science**, v. 12, n. 4, p. 135-136, 2007.
- AMZALLAG, G.N. Data analysis in plant physiology: Are we missing reality? **Plant, Cell and Environment**, v. 24, p. 881-890, 2003.
- APPEL, H.M.; COCROFT, R.B. Plants respond to leaf vibration caused by insect herbivore chewing. **Oecologia**, v. 175, n. 4, p. 1257-1266, 2014.
- BALUŠKA, F. & MANCUSO, S. Deep evolutionary origins of neurobiology. **Communicative & Integrative Biology**, v. 2, n. 1, p. 60-65, 2009.
- BALUŠKA, F. *et al.* Plant synapses: actin-based domains for cell-to-cell communication. **Trends in Plant Science**, v. 10, n. 3, p. 106-111, 2005.
- BARLOW, P.W. Reflections on ‘plant neurobiology’. **BioSystems**, v. 12, p. 132-147, 2008.
- BEEKMAN, M.; RATNIEKS, F.L. Long-range foraging by the honey-bee, *Apis mellifera* L. **Functional Ecology**, v. 14, p. 460-496, 2000.
- BEILER, K.J. *et al.* Architecture of the wood-wide web: *Rhizopogon* spp. genets link multiple Douglas-fir cohorts. **New Phytologist**, v. 185, p. 543-553, 2010.
- BERTOLLI, S.C. **Auto/não-auto discriminação de raízes e o reconhecimento parental de *Eucalyptus urophylla* sob diferentes condições ambientais**. Rio Claro: UNESP, 2015. 80 f. Tese (doutorado em Biologia Vegetal). Instituto de Biociências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.

BÍBLIA. Português. **Bíblia de Jerusalém**. A.T. Gênesis. Tradução da École Biblique de Jérusalem. São Paulo: Paulus, 2002.

BÖHM, J. *et al.* The Venus flytrap *Dionaea muscipula* counts prey-induced action potentials to induce sodium uptake. **Current Biology**, v. 26, p. 286-295, 2016.

BRENNER, E.D. *et al.* Plant neurobiology: an integrated view of plant signaling. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 8, p. 413-419, 2006.

BRENNER, E.D. *et al.* Response to Alpi *et al.*: Plant neurobiology: the gain is more than the name. **Trends in Plant Science**, v. 12, n. 7, p. 282-285, 2007.

CAHILL, J.F., Jr. *et al.* Mechanical leaf damage causes localized, but not systemic, changes in leaf movement behaviour of the Sensitive Plant, *Mimosa pudica* (Fabaceae) L. **Botany**, v. 91, n. 1, p. 43-47, 2013.

CALVO, P. The philosophy of plant neurobiology: a manifesto. **Synthese**, v. 193, n. 5, p. 1323-1343, 2016.

CAPRA, F.; LUISI, P.L. **A Visão Sistêmica da Vida**: Uma concepção unificada e suas implicações filosóficas, políticas, sociais e econômicas. Tradução de Mayra Teruya Eichemberg e Newton Roberval Eichemberg. São Paulo: Editora Cultrix, 2014.

COVENEY, P. & HIGHFIELD, R. **A Flecha do Tempo**. Tradução de J.E. Smith Caldas. São Paulo: Editora Siciliano, 1993.

CYPRIANO, R.J. **Reconhecimento de padrões sonoros por plantas: um estudo da resposta de *Impatiens walleriana* ao canto de *Quesada gigas***. Viçosa: UFV, 2013. 53 f. Dissertação (mestrado em ecologia). Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

DARWIN, C.R.; DARWIN, F. **The Power of Movement in Plants**. Londres: John Murray, 1880.

DE MAIRAN, J.J.O. Observation botanique. **Histoire de l'Académie Royale de Sciences**, p. 35-36, 1729.

DE MORAES, C.M. *et al.* Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids. **Nature**, v. 393, p. 570-573, 1998.

DENER, E. *et al.* Pea plants show risk sensitivity. **Current Biology**, v. 26, p. 1-5, 2016.

DICKE, M. & VAN LOON, J.J.A. Multitrophic effects of herbivore-induced plant volatiles in an evolutionary context. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 97, p. 237-249, 2000.

DICKE, M. *et al.* Jasmonic acid and herbivory differentially induce carnivore-attracting plant volatiles in lima bean plants. **Journal of Chemical Ecology**, v. 25, n. 8, p. 1907-1922, 1999.

DUDLEY, S.A. & FILE, A.L. Kin recognition in an annual plant. **Biology Letters**, v. 3, p. 435-438, 2007.

FALIK, O. *et al.* Physiologically-mediated self/non self root discrimination in *Trifolium repens* has mixed effects on plant performance. **Plant Signaling & Behavior**, v. 1, n. 3, p. 116-121, 2006.

FALIK, O. *et al.* Plant responsiveness to root-root communication of stress cues. **Annals of Botany**, v.110, p. 271-280, 2012.

FALIK, O. *et al.* Rumor has it...: Relay communication of stress cues in plants. **PLoS One**, v. 6, n. 11, p.1-6, 2011.

FALIK, O. *et al.* Self/non-self discrimination in roots. **Journal of Ecology**, v. 91, p. 525-531, 2003.

FLANNERY, M.C. Do plants have to be intelligent? **The American Biology Teacher**, v. 64, n. 8, p. 628-633, 2002.

GAGLIANO, M. *et al.* Acoustic and magnetic communication in plants: Is it possible? **Plant Signaling & Behavior**, v. 7, n. 10, p. 1346-1348, 2012b.

GAGLIANO, M. *et al.* Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters. **Oecologia**, v. 175, n. 1, p. 63-72, 2014.

GAGLIANO, M. *et al.* Learning by association in plants. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1-9, 2016.

GAGLIANO, M. *et al.* Out of sight but not out of mind: Alternative means of communication in plants. **PLoS One**, v. 7, n. 5, 2012a.

GAGLIANO, M. *et al.* Towards understanding plant bioacoustics. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 6, p. 323-325, 2012.

HAMANT, O. & MOULIA, B. How do plants read their own shapes? **New Phytologist**, v. 212, p. 333-337, 2016.

HARDY, K. *et al.* Neanderthal medics? Evidence food, cooking and medicinal plants entrapped in dental calculus. **Naturwissenschaften**, v. 99, n. 8, p. 617-626, 2012.

HEDRICH, R. *et al.* Electrical wiring and long-distance plant communication. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 5, p. 376-387, 2016.

HERSHEY, D.R. Plants are indeed intelligent. **Plant Science Bulletin**, v. 51, n. 3, outono de 2005. Disponível em :<
<http://botany.org/PlantScienceBulletin/PSB-2005-51-3.php#Plants>>.
Acesso em 09 ago. 2017.

JABLONKA, E.; LAMB, M.J. **Evolução em Quatro Dimensões: DNA, comportamento e a história da vida.** Tradução de Claudio Angelo. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

JONES, J.; DANGL, J. The plant immune system. **Nature**, v. 444, p. 323-329, 2006.

JORDANOVA, L.J. **Lamarck.** Cidade do México: Fondo de Cultura Económica, 1990.

KARBAN, R. *et al.* Kin recognition affects plant communication and defence. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 280, p. 1-5, 2013.

KARBAN, R. *et al.* Volatile communication between plants that affect herbivory: a meta-analysis. **Ecology Letters**, v. 17, p. 44-52, 2014.

KARBAN, R. **Plant Sensing and Communication**. Chicago: The University of Chicago Press, 2015.

LIEUTAGHI, P. **Árvores**. Tradução de Clara Allain. São Paulo: Publifolha, 2012.

LÜTTGE, U. Modularity and emergence: biology's challenge in understanding life. **Plant Biology**, v. 14, p. 865-871, 2012.

MANCUSO, S.; VIOLA, A. **Verde Brillante**: sensibilit  e intelligenza de mondo vegetale. Floren a: Giunti Editore, 2015.

MARDER, M. Plant intelligence and attention. **Plant Signaling and Behavior**, v. 8, n. 5, p. 1-5, 2013.

MATURANA, H.R.; VARELA, F.J. **A  rvore do Conhecimento**. Trad  o de Humberto Mariotti e Lia Diskin. S o Paulo: Palas Athena, 2001.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, v. 15, p. 473-497, 1962.

MURPHY, G.P.; DUDLEY, S.A. Kin recognition: Competition and cooperation in *Impatiens* (Balsaminaceae). **American Journal of Botany**, v. 96, n. 11, p. 1990-1996, 2009.

N  E, G. *et al.* The release of dormancy, a wake-up call for seeds to germinate. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 35, p. 8-14, 2017.

NOGUEIRA-NETO, P. **Vida e Cria  o de Abelhas Ind genas sem Ferr o**. S o Paulo: Nogueirapis, 1997.

NOIRET, P. Mircea  liade et la pens e mythique au Pal olithique Sup rieur. **Arheologia Moldovei**, v. XXXVI, p. 279-286, 2013.

OLDROYD, G.E.D. Speak, friend, and enter: signaling systems that promote beneficial symbiotic associations in plants. **Nature Reviews: Microbiology**, v. 11, n. 4, p. 259-263, 2013.

PATOU-MATHIS, M. **Neandertais: quem são eles? Quem somos nós?** Seminário. Florianópolis: UFSC, 2016. (Comunicação pessoal).

POLLAN, M. A planta inteligente. **Piauí**, ed. 92. Maio de 2014. Disponível em: <<http://piaui.folha.uol.com.br/materia/a-planta-inteligente/>>. Acesso em 13 ago. 2017.

RAINE, N.E. *et al.* Spatial structuring and floral avoidance behavior prevent ant-pollinator conflict in a Mexican ant-acacia. **Ecology**, v. 83, n. 11, p. 3086-3096, 2002.

REHM, H.; GRADMANN, D. Intelligent plants or stupid studies. **Lab Times**, n. 3, p. 30-32, 2010.

RUNYON, J.B. *et al.* Volatile chemical cues guide host location and host selection by parasitic plants. **Science**, v. 313, p. 1964-1967, 2006.

SALATINO, A. Nós e as plantas: Ontem e hoje. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 4, p. 483-490, 2001.

SCHNEE, C. *et al.* The products of a single maize sesquiterpene synthase form a volatile defense signal that attracts natural enemies of maize herbivores. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 4, p. 1129-1134, 2006.

SIMARD, S.W. *et al.* Mycorrhizal networks: Mechanisms, ecology and modelling. **Fungal Biology Reviews**, v. 26, p. 39-60, 2012.

SIMARD, S.W. *et al.* Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. **Nature**, v. 388, p. 579-582, 1997a.

SIMARD, S.W. *et al.* Reciprocal transfer of carbon isotopes between ectomycorrhizal *Betula papyrifera* and *Pseudotsuga menziesii*. **New Phytologist**, v. 137, p. 529-542, 1997b.

SIMARD, S.W. The foundational role of mycorrhizal networks in self-organization of interior Douglas-fir forests. **Forest Ecology and Management**, v. 258S, p. 95-107, 2009.

SOCIETY FOR PLANT SIGNALING & BEHAVIOR (SPS&B). **About us**. Society for Plant Signaling and Behavior, 2015. Disponível

em: < <http://www.plantbehavior.org/about-us/>> Acesso em 22 ago. 2017.

SONG, G.C. *et al.* Root-mediated signal transmission of systemic acquired resistance against above-ground and below-ground pathogens. **Annals of Botany**, v. 118, p. 821-831, 2016.

SONG, Y.Y. *et al.* Interplant communication of tomato plants through underground common mycorrhizal networks. **PLoS One**, v. 5, n. 10, p. 1-11, 2010.

SOUZA, G.M. *et al.* Toward a systemic plant physiology. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 28, n. 4, p. 341-346, 2016.

SOUZA, G.M.; TOLEDO, G.R.A.; SARAIVA, G.F.R. **Toward a systemic view for plant learning: an (eco)physiological perspective.** viXra.org, 2017. Disponível em: <<http://vixra.org/abs/1707.0039>>. Acesso em 30 ago. 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** Tradução de Eliane Romanato Santarém *et al.*, 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

THE LEGUME PHYLOGENY WORKING GROUP (LPWG). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. **Taxon**, v. 66, n. 1, p.44-77, 2017.

TREWAVAS, A. Aspects of plant intelligence. **Annals of Botany**, v. 92, n. 1, p. 1-20, 2003.

TREWAVAS, A. Intelligence, cognition, and language of green plants. **Frontiers in Psychology**, v. 7, p. 1-9, 2016a.

TREWAVAS, A. Plant intelligence. **Naturwissenschaften**, v. 92, n. 9, p. 401-413, 2005.

TREWAVAS, A. Plant intelligence: An overview. **BioScience**, v. 66, n. 7, 542-551, 2016b.

TREWAVAS, A. Response to Alpi *et al.*: Plant neurobiology – all metaphors have value. **Trends in Plant Science**, v. 12, n. 6, p. 231-233, 2007.

VOLKOV, A.G. *et al.* *Mimosa pudica*: Electrical and mechanical stimulation of plant movements. **Plant, Cell & Environment**, v. 33, p. 163-173, 2010.

VOLKOV, A.G.; MARKIN, V.S. Active and passive electrical signaling in plants. In: LÜTTGE, U.; BEYSCHLAG, W. (eds.). **Progress in Botany 76**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, 2015. P. 143-176.

WEISS, E. *et al.* Plant-food preparation area on Upper Paleolithic brush hut floor at Ohalo II, Israel. **Journal of Archaeological Science**, v. 35, n. 8, p. 2400-2414, 2008.